

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра електропостачання

«На правах рукопису»

УДК[51.7+330.44]:620.29+621.311

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ В.А. Попов

« ____ » _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
спеціалізації Системи електропостачання**

**на тему: «Інформаційне забезпечення економіко-математичної моделі
розвитку енергокомплексу України»**

Виконав:

студент VI курсу, групи ОЕ-61м

Протацук Олег Валерійович _____

Керівник:

канд. техн. наук, доц. Костюк В.О. _____

Консультант з нормоконтролю:

ас. Прокопенко І.Д. _____

Рецензент:

Ст. наук. співробітник ДП «Державний

науково-технічний центр з ядерної

та радіаційної безпеки»

канд. техн. наук Білан Т.Р. _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра електропостачання

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Спеціалізація «Системи електропостачання»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.А. Попов

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Протащук Олега Валерійовичу

1. Тема дисертації «Інформаційне забезпечення економіко-математичної моделі розвитку енергокомплексу України»

2. Строк подання студентом дисертації: *18 травня 2018 р.*

3. **Об'єкт дослідження:** електроенергетична система у процесі її невідпинного вдосконалення в умовах конкурентного ринку, що здійснюється через прискорене впровадження перспективних альтернативних та відновлюваних технологій виробництва і споживання електричної і теплової енергії.

4. **Предметом дослідження** є інформаційне забезпечення економіко-математичної моделі розвитку електроенергетичної системи за умови розширеного використання відновлюваних технологій тепло- та електрогенерування.

5. **Перелік завдань, які потрібно розробити:** Пристосувати відомі методи розв'язання оптимізаційних техніко-економічних задач для отримання прогнозних обсягових оцінок вироблення електричної та теплової енергії за вірогідними сценаріями у розвитку паливно-енергетичного комплексу з використанням нових та відновлюваних технологій.

Розробити інформаційне забезпечення оптимізаційної моделі розвитку сектору генерування паливно-енергетичного комплексу України з визначенням нових конкурентних технологій відновлюваної енергетики (ТВЕ) – через показники фондомісткості, що відповідають сучасним досягненням науково-технічного прогресу в енергетиці.

Отримати розрахункові оцінки максимізованих прогнозних обсягів вироблення енергії кінцевого споживання конкурентними ТВЕ у варіантах – за базовим та оптимістичним сценаріями розвитку енергосистеми України в межах обраного часового горизонту прогнозування.

6. Перелік ілюстративного матеріалу: типи даних, фрагменти табличного подання моделі у форматі електронної таблиці, карти ресурсного потенціалу України.

7. Перелік публікацій: збірник матеріалів і тез конференцій Міжнародної конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – REMS'17» м. Київ, 27 квітня 2017р, збірник матеріалів і тез конференцій міжнародної конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – REMS'18» м. Київ, 19 квітня 2018р.

8. Дата видачі завдання: 12 березня 2018 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літературних джерел по обраній темі, формулювання вступної частини	12.03.2018 - 25.03.2018	
2	Розроблення інформаційне забезпечення оптимізаційної моделі розвитку сектору генерування	27.03.2018 - 15.04.2018	
3	Отримання розрахункових оцінок прогнозних обсягів вироблення енергії	16.04.2018 - 30.04.2018	
4	Розробка стартап проекту	1.05.2018 - 15.05.2018	
5	Висновки, оформлення звіту та презентації	1.05.2018 - 14.05.2018	

Студент

(підпис)

О.В. Проташик

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

В.О. Костюк

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Обсяг та структура дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел. Основний зміст викладено на 116 сторінках друкованого тексту, містить 32 ілюстрації, 24 таблиці, 50 бібліографічних найменувань за переліком посилань. Загальний обсяг дисертації – 126 сторінок.

Актуальність теми полягає в заощадженні традиційних паливно-енергетичних ресурсів, покращення екологічного стану навколишнього середовища та зменшенні залежності країни від імпорتنих енергоносіїв. Наукові дослідження за темою дисертації відповідають стратегічним положенням Енергетичної стратегії України на період до 2035 року.

Метою роботи є вдосконалення математичних моделей прогнозування розвитку електроенергетичної системи з використанням сучасних відновлюваних технологій виробництва теплової та електричної енергії і розробка відповідних програмно-інформаційних засобів їх реалізації з урахуванням капіталізації ринку в межах обраного часового горизонту прогнозування.

Для досягнення поставленої мети використано оптимізаційну двопродуктову економіко-математичну модель розширення існуючого виробництва галузі з розподілом інвестованого капіталу, спрямованих на розвиток технологій виробництва теплової та електричної енергії: з біомаси та біогазу, з використанням теплоти геотермальних вод, малих ГЕС, енергії вітру та сонячного випромінювання. Обчислення максимально досяжних обсягів виробництва здійснено за умови обмежень на раціональне використання паливних і енергетичних ресурсів з урахуванням фондомісткості кожної технології.

Об'єкт дослідження – електроенергетична система у процесі її неперервного вдосконалення в умовах конкурентного ринку, що здійснюється через прискорене впровадження перспективних альтернативних та відновлюваних технологій виробництва і споживання електричної і теплової енергії.

Предметом дослідження інформаційне забезпечення економіко-математичної моделі розвитку електроенергетичної системи за умови розширеного використання відновлюваних технологій тепло- та електрогенерації.

Методи дослідження. Наукові результати дисертаційної роботи були отримані на основі методології системного аналізу та з використанням математичних методів: техніко-економічного аналізу, лінійного програмування (класична оптимізаційна задача лінійного програмування із пошуком розв'язків шляхом модельних озрахунків на ЦВМ).

Новизна і практична значимість. Пристосовано відомі методи розв'язання оптимізаційних техніко-економічних задач для отримання прогнозних обсягових оцінок вироблення електричної та теплової енергії за

вірогідними сценаріями у розвитку паливно-енергетичного комплексу з використанням нових та відновлюваних технологій.

Розроблено інформаційне забезпечення оптимізаційної моделі розвитку сектору генерування паливно-енергетичного комплексу України з визначенням нових конкурентних технологій відновлюваної енергетики (ТВЕ) – через показники фондомісткості, що відповідають сучасним досягненням науково-технічного прогресу в енергетиці.

Отримано розрахункові оцінки максимізованих прогнозних обсягів вироблення енергії кінцевого споживання конкурентними ТВЕ у варіантах – за базовим та оптимістичним сценаріями розвитку енергосистеми України в межах обраного часового горизонту прогнозування.

Апробація результатів дисертації. Основні положення роботи та її результати доповідались на міжнародній науково-технічній та навчально-методичній конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – 2017» PEMS та «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – 2018» PEMS (м. Київ, 2018р.).

За результатами досліджень опубліковано 2 наукові статті у наукових фахових виданнях України:

1. Економіко–математична модель розвитку відновлюваної енергетики України з оптимальним розподілом інвестицій // Збірник тез доповідей міжнародної науково-технічної та навчально-методичної конференції “Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку PEMS’17”.– Київ. 2017.

2. Інформаційне забезпечення економіко-математичної моделі розвитку енергетичної системи України з використанням відновлюваних технологій // Збірник тез доповідей III-ої міжнародної науково-технічної та навчально-методичної конференції “Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку PEMS’18”.– Київ. 2018.

3. Ресурсне забезпечення прогнозних сценаріїв розвитку енергетичної системи України на основі відновлюваних технологій // Збірник тез доповідей X міжнародної науково-технічної конференції “Енергетика. Екологія. Людина”.– Київ. 2018.

Обчислювальна техніка. Під час виконання дисертаційної роботи була використана програма Lp Solve, Microsoft Office.

Ключові слова: виробництво енергії, відновлювані джерела енергії, економіко-математична модель, інформаційне забезпечення, розвиток енергосистеми.

ABSTRACT

Volume and structure of dissertation work. Thesis consists of introduction, five sections, conclusions, list of used sources. The main content is outlined on the 116 pages of printed text, contains 24 tables, 32 charts, 50 bibliographical names under the list of references. The total volume of the dissertation is 1276page.

The aim of the work is to improve the mathematical models of forecasting the development of the electric power system with the use of modern renewable technologies for the production of thermal and electric energy and the development of appropriate software and information tools for their implementation, taking into account market capitalization within the chosen time forecasting horizon.

To achieve this goal, an optimization two-product economic and mathematical model of the expansion of the existing production of the industry with the distribution of invested capital aimed at the development of technologies for the production of thermal and electric energy: from biomass and biogas, using heat of geothermal waters, small hydropower plants, wind power and solar radiation. The calculation of the maximum achievable production volume was made subject to restrictions on the rational use of fuel and energy resources, taking into account the stock of each technology.

The object of research is the electric power system in the process of its unceasing improvement in a competitive market, which is carried out through the accelerated introduction of promising alternative and renewable technologies of production and consumption of electric and thermal energy.

The subject of research is data design of the economic-mathematical model of the development of the power system, provided that the use of renewable technologies of heat and power generation is expanded.

The scientific and practical value of the work were obtained on the basis of the methodology of system analysis and using mathematical methods: technical and economic analysis, linear programming (classical optimization problem of linear programming with the search of solutions by model calculations on the central computer).

Novelty and practical significance. Improvement of well-known methods and means of forecasting the development of electric and heat supply systems in the existing scientific and technological progress in the power industry.

Study and development of information support for existing models of development of the fuel and energy complex generation sector on the basis of renewable energy technologies.

Obtaining the forecasted results for the development of Ukraine's grid system taking into account market capitalization within the chosen time forecasting horizon.

Testing the results of the dissertation and publication. The main provisions of work and its results were presented at the International scientific-technical and educational conference "Energy Management: Status and Prospects - 2017» PEMS (Kyiv, 2017y.) and International scientific-technical and educational conference "Energy Management: Status and Prospects - 2018» PEMS (Kyiv, 2018y.).

According to the results of the research, 3 scientific articles have been published in scientific professional editions of Ukraine:

1. Economic and mathematical model of renewable energy development in Ukraine with optimal investment distribution // Proceedings of the international scientific-technical and educational-methodical conference "Energy management: the state and prospects of development of PEMS'17". - Kyiv. 2017.

2. Data design for economic and mathematical model to optimize competitive renewable technologies expansion planning in Ukraine // Proceedings of the international scientific-technical and educational-methodical conference "Energy management: the state and prospects of development of PEMS'18". - Kyiv. 2018.

3. Resource provision of forecast scenarios for the development of the energy system of Ukraine based on renewable technologies // Proceedings of the reports of the Xth International Scientific and Technical Conference "Energy. Ecology. People."- Kyiv. 2018.

Computers. Lp Solve, Microsoft Office was used during the course of the dissertation.

Key words: energy production, renewable energy sources, economic and mathematical model, information provision, development of power grids.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	10
ВСТУП.....	11
1 ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОСИСТЕМИ ВИРОБНИЧОГО ТИПУ	16
1.1 Проблема розроблення інформаційного забезпечення та вимоги адекватності економіко-математичного моделювання	16
1.2 Стислий огляд моделей прогнозування розвитку енергетичних систем в сучасних умовах	18
1.3 Математичний опис моделі розвитку виробництва з розподілом типу МРІ	24
1.4 Загальний опис економіко-математичної моделі оцінювання прогнозних обсягів виробництва теплової та електричної енергії технологічними установками на основі ВДЕ	29
2 РЕСУРНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОСИСТЕМИ ВИРОБНИЧОГО ТИПУ	43
2.1 Біоенергетика	44
2.2 Вітроенергетика	48
2.3 Гідроенергетика	54
2.3.1 Оцінювання технічного потенціалу гідроенергетичних ресурсів малих річок України.....	54
2.3.2 Проблеми та перспективи розвитку малої гідроенергетики: і вплив ГЕС на навколишнє середовище	55
2.3.3 Математична модель для розрахунку технічного потенціалу гідроенергетичних ресурсів	55
2.4 Енергія сонця	63
2.5 Геотермальна енергія	74
2.6 Енергія довкілля	77
2.7 Прогнозні сценарії надходжень інвестиційного капіталу, спрямованого на розвиток ЕЕС	80
3 МЕТОДОЛОГІЯ РОЗРАХУНКІВ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ	89

3.1 Методи економіко-математичного моделювання оцінювання економічної привабливості технологій енергопостачання	89
3.2 Метод визначення ціни виробництва за схемою нормованої вартості електроенергії на основі моделі життєвого циклу енергоустановки	93
3.3 Методи розрахунку нормованої ціни виробництва енергопродуктів та показники визначення капітальних витрат	100
3.3.1 Вживані записи нормованої ціни виробництва енергопродуктів	100
3.3.2 Особливості визначення вартості капітальних витрат	103
4 ЧИСЛОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ВАРІАНТНИХ РОЗРАХУНКІВ ТА ЇХ ІНТЕРПРЕТАЦІЯ.....	108
4.1 Результати розрахунків за базовим сценарієм.....	108
4.2 Результати розрахунків за оптимістичним сценарієм	113
5 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	116
5.1 Опис ідеї проекту	116
5.2 Технологічний аудит проекту.....	118
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	120
5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	122
5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	124
ВИСНОВКИ	126
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	127

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВДЕ – відновлювані джерела енергії;
ВЕС – вітрова електростанція;
ВЕУ – вітроенергоустановка;
ГАЕС – гідроакумулювальні електростанції;
ГЕН – графік електричного навантаження;
ГЕС – гідроелектростанція;
Е-ВДЕ – електроенергія, вироблена з використанням ВДЕ;
ЕЕС – електроенергосистема;
ЕПС – комбінована система електропостачання;
ОЕС – об'єднана електроенергетична система;
ІКУН – інтегровані геліоколекторні установки з накопичувачами теплоти;
КВВП – коефіцієнт використання встановленої потужності;
КЕУ – комбінована електроенергетична установка;
ККД – коефіцієнт корисної дії;
МГЕС – ГЕС невеликої потужності, малі ГЕС
НВДЕ – нові (також нетрадиційні) та відновлювані джерела енергії;
ПЕК – паливно-енергетичний комплекс;
ПІК – програмно-інформаційний комплекс;
МРІ – моделі розподілу інвестиційного капіталу, спрямованого на розвиток галузі ;
СЕС – сонячна фотоелектростанція;
СФЕС – сонячна фотоелектрична станція;
СФЕМ – сонячний фотоелектричний модуль;
СФЕУ – фотоелектрична установка;
ТВЕ – технологій відновлюваної енергетики;
ТВДЕ – технології використання відновлювальних джерел енергії;
ТНУ – теплонасосна установка.

ВСТУП

Актуальність теми магістерської дисертації

В Україні швидкими темпами зростає частка альтернативної енергетики. За рік загальна потужність об'єктів, споруджених з використанням технологій відновлюваної енергетики (ТВЕ) збільшилася більш як на 10% – до 1,5 ГВт. Згідно з даними Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики і комунальних послуг (НКРЕКП) в Україні протягом першого кварталу 2018 року введено в експлуатацію близько 159 МВт нових генерувальних потужностей з використанням ТВЕ, що у 2,4 рази перевищує результати першого кварталу 2017 року. За попередніми оцінками орієнтовна сукупна вартість цих інвестиційних проектів із впровадження ТВЕ становить від 300 до 500 млн дол.США.

З метою визначення доцільних обсягів виробництва теплової та електричної енергії енергетичними об'єктами на основі «чистих» технологій відновлюваної енергетикита визначення пріоритетності розвитку (конкурентоздатності) основних ТВЕ, що виробляють енергію у формах кінцевих продуктів споживання, розроблено оптимізаційну багатопродуктову економіко-математичну модель розширення існуючого виробництва галузі з розподілом інвестиційного капіталу, спрямованого на розвиток технологій виробництва теплової та електричної енергії: з біомаси та біогазу, з використанням теплоти геотермальних вод, малих ГЕС, енергії вітру та сонячного випромінювання.

Основним недоліком ТВЕ низька коротко- та довгострокова прогнозованість графіка теплової чи електричної потужності первинного відновлюваного джерела. За невисокого запасу потужності установок на основі ТВЕ, котрий режимно обмежений прагненням утримати високе значення коефіцієнта використання (КВВП), постає необхідність резервування генерації на випадок виникнення дефіциту. Зазвичай цю функцію виконують енергетичні об'єкти, побудовані із застосуванням традиційних технологій. Попри значні

технологічні зрушення, досягнуті протягом останніх років, котрі є запорукою поліпшення техніко-економічної ефективності, основна частка цих джерел залишаються поза конкуренцією із традиційними, навіть без урахування потреб в їх резервуванні, що обумовлює необхідність значної державної підтримки їх впровадження.

Через ці основні чинники актуальною є задача визначення науково обґрунтованих обсягів впровадження окремих ТВЕ, для цілей централізованого, локального та індивідуального електро- та теплопостачання, визначення найбільш ефективних механізмів державної підтримки розвитку ТВДЕ. Для комерційних енергетичних об'єктів (електричних станцій), приєднаних до електричних мереж, основною проблемою є розв'язання технічних задач щодо ефективного функціонування означених систем у складі електроенергетичної системи (ЕЕС) та визначення системного впливу технологій ВДЕ на техніко-показники функціонування розподільних мереж ОЕС України. З урахуванням означеного, необхідним є коректне визначення доцільних обсягів розвитку ВДЕ в Україні як для цілей локального енергозабезпечення, так і їх централізованого використання в межах ОЕС України.

Таким чином, постановка і розв'язання комплексної задачі прогнозування в межах цього дослідження зумовлено необхідністю пристосування існуючих відомої економіко-математичної моделі розвитку енергосистеми [1] за умов прискореного впровадження ТВЕ, що потребує вивчення специфіки і розроблення нового інформаційного забезпечення для основних конкурентних ТВЕ, що домінують на ринку виробництва теплової та електричної енергії.

Застосування результатів роботи дасть змогу сформулювати пропозиції щодо вдосконалення системи державної підтримки розвитку ТВЕ, визначити доцільні обсяги їх фінансування в рамках впровадження проектів інтегрованих систем забезпечення тепловою та електричною енергією споживачів України.

Актуальність теми полягає в заощадженні традиційних паливно-енергетичних ресурсів, покращення екологічного стану навколишнього середовища та зменшенні залежності країни від імпорту енергоносіїв.

Наукові дослідження за темою дисертації відповідають стратегічним положенням Енергетичної стратегії України на період до 2035 року.

Метою роботи є вдосконалення математичних моделей прогнозування розвитку електроенергетичної системи з використанням сучасних відновлюваних технологій виробництва теплової та електричної енергії і розробка відповідних програмно-інформаційних засобів їх реалізації з урахуванням капіталізації ринку в межах обраного часового горизонту прогнозування.

Для досягнення поставленої мети використано оптимізаційну двопродуктову економіко-математичну модель розширення існуючого виробництва галузі з розподілом інвестованого капіталу, спрямованих на розвиток технологій виробництва теплової та електричної енергії: з біомаси та біогазу, з використанням теплоти геотермальних вод, малих ГЕС, енергії вітру та сонячного випромінювання. Обчислення максимально досяжних обсягів виробництва здійснено за умови обмежень на раціональне використання паливних і енергетичних ресурсів з урахуванням фондомісткості кожної технології.

Об'єкт дослідження – електроенергетична система у процесі її неперервного вдосконалення в умовах конкурентного ринку, що здійснюється через прискорене впровадження перспективних альтернативних та відновлюваних технологій виробництва і споживання електричної і теплової енергії.

Предметом дослідження інформаційне забезпечення економіко-математичної моделі розвитку електроенергетичної системи за умови розширеного використання відновлюваних технологій тепло- та електрогенерації.

Методи дослідження. Наукові результати дисертаційної роботи були отримані на основі методології системного аналізу та з використанням математичних методів: техніко-економічного аналізу, лінійного програмування

(класична оптимізаційна задача лінійного програмування із пошуком розв'язків шляхом модельних озрахунків на ЦВМ).

Новизна і практична значимість. Пристосовано відомі методи розв'язання оптимізаційних техніко-економічних задач для отримання прогностичних обсягових оцінок вироблення електричної та теплової енергії за вірогідними сценаріями у розвитку паливно-енергетичного комплексу з використанням нових та відновлюваних технологій.

Розроблено інформаційне забезпечення оптимізаційної моделі розвитку сектору генерування паливно-енергетичного комплексу України з визначенням нових конкурентних технологій відновлюваної енергетики (ТВЕ) – через показники фондомісткості, що відповідають сучасним досягненням науково-технічного прогресу в енергетиці.

Отримано розрахункові оцінки максимізованих прогностичних обсягів вироблення енергії кінцевого споживання конкурентними ТВЕ у варіантах – за базовим та оптимістичним сценаріями розвитку енергосистеми України в межах обраного часового горизонту прогнозування.

Апробація результатів дисертації. Основні положення роботи та її результати доповідались на міжнародній науково-технічній та навчально-методичній конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – 2017» PEMS та «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – 2018» PEMS (м. Київ, 2018р.).

За результатами досліджень опубліковано 2 наукові статті у наукових фахових виданнях України:

1. Економіко–математична модель розвитку відновлюваної енергетики України з оптимальним розподілом інвестицій // Збірник тез доповідей міжнародної науково-технічної та навчально-методичної конференції “Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку PEMS’17”.– Київ. 2017.

2. Інформаційне забезпечення економіко-математичної моделі розвитку енергетичної системи України з використанням відновлюваних технологій //

Збірник тез доповідей III-ої міжнародної науково-технічна та навчально-методична конференція “Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку REMS’18”.– Київ. 2018.

3. Ресурсне забезпечення прогнозних сценаріїв розвитку енергетичної системи України на основі відновлюваних технологій // Збірник тез доповідей X міжнародної науково-технічної конференції “Енергетика. Екологія. Людина”.– Київ. 2018.

Обсяг та структура дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел. Основний зміст викладено на 116 сторінках друкованого тексту, містить 32 ілюстрації, 24 таблиці, 50 бібліографічних найменувань за переліком посилань. Загальний обсяг дисертації – 126 сторінок.

1 ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОСИСТЕМИ ВИРОБНИЧОГО ТИПУ

1.1 Проблема розроблення інформаційного забезпечення та вимоги адекватності економіко-математичного моделювання

Інформаційне забезпечення – це система одержання, оцінки, зберігання та переробки даних, створена з метою вироблення управлінських рішень. Тому розроблення інформаційного забезпечення є важливим етапом та необхідною умовою здійснення економіко-математичного моделювання. Це пояснюється тим, що від складу, змісту, якості вихідних даних залежить ефективність аналітичного дослідження, об'єктивність і дієвість його результатів [2].

Розробка інформаційного забезпечення – це створення бази даних, комплексу інформаційних засобів, необхідних для дослідження та вирішення поставленої задачі та вирішення.

У практиці інформаційного забезпечення використовують два терміни: інформація та дані, які часто вважають однаковими. Але це два різні поняття.

Дані – це відомості про стан об'єкта. Дані можуть бути представлені у різних формах: числові, описові, схематичні, рисовані, накреслені (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Типи даних

Отже, дані – це величина, число або зображення, яке вводиться у процес інформаційної обробки або виводиться з нього.

Щодо інформації, то закон України "Про інформацію" [3] трактує інформацію як документовані або публічно оголошені відомості про події,

явища, що відбуваються у суспільстві, державі та навколишньому природному середовищі.

Розглянемо загальні властивості інформації:

1. Актуальність – важливість, істотність у певний момент часу.
2. Вірогідність – інформація достовірна, якщо вона віддзеркалює дійсність.
3. Об'єктивність – неупередженість, незалежність інформації від волі та бажань людини.
4. Повнота – інформацію можна вважати повною, якщо її достатньо для розуміння та прийняття рішення.
5. Адекватність – визначений рівень вірогідності створюваного (за допомогою отриманої інформації) образу реального об'єкта, явища або процесу.

Процес переробки даних у корисну інформацію включає такі три стадії відбору (рис. 1.2):

- Фізична стадія пов'язана з реальною можливістю її сприйняття та обробки.
- Семантична стадія обумовлена прийнятими погодженнями і стандартами знаків, кодів, термінів.
- Прагматична – це стадія, на якій оцінюється корисність даних і потреба в них.



Рисунок 1.2 – Стадії відбору даних

Економічна інформація – це відомості про економічні процеси (виробництво, розподіл, обмін і споживання), які відбуваються всередині системи [2].

Вона відіграє надзвичайно важливу роль, використовуючи інформацію про матеріальні запаси, необхідні для забезпечення безперебійного їх спрямування у виробництво, можна обґрунтувати необхідність залучення кредитних ресурсів і прийняти відповідне управлінське рішення. З іншого боку, можна навпаки відмінити таке саме рішення за умови створення мінімального запасу сировини і матеріалів для найбільш раціонального й ефективного використання вивільнених ресурсів.

Вибір того чи іншого рішення має підкріплюватися додатковою інформацією, відповідними розрахунками та аналітичними висновками. Зокрема, це стосується врахування та порівняння всіх можливих витрат (витрати на зберігання сировини, матеріалів, плата за кредит), а також доходів.

Як числові межі відліку використовуються дані базового періоду, отримані на основі поточного обліку, та завдання на плановий період у відповідних одиницях виміру.

1.2 Стислий огляд моделей прогнозування розвитку енергетичних систем в сучасних умовах

Сьогодні енергетична галузь стає дедалі складнішою поліструктурною системою, різноякісні взаємопов'язані підсистеми якої формують складну ієрархічну побудову. Перший крок до ідентифікації будь-якої системи є відображення її у математичній формі (моделі), за допомогою якої можна проводити експериментальні розрахунки. Приступаючи до вивчення енергетичної системи, найперше, що потрібно зробити, так це визначити цілі дослідження, її границі, елементи, внутрішні та зовнішні зв'язки, а також часовий горизонт моделювання. Ці питання є взаємопов'язаними, оскільки саме

мета дослідження, як правило, визначає границі системи та структуру параметрів, необхідних для її представлення в моделі.

Розглянемо основні види моделей виробничого типу. Це наступні види:

- 1) Первісна модель (модель загального виду);
- 2) Модель Канторовича;
- 3) Модель на мінімум витрат;
- 4) Модель міжпродуктового балансу леонтьєвського типу.

Моделі виробничого типу складаються з системи рівнянь (обмежень) та цільової функції. Математично вони є задачею лінійного програмування із специфічною структурою. Цільові функції моделей виробничого типу виражають певний економічний чи техніко-економічний показник-критерій оптимальності і можуть розглядатися як оператор для обчислення величини такого показника. Цільові функції пов'язані зі структурою моделі і вибір конкретної цільової функції з необхідністю вимагає певних структурних особливостей моделі. В записах моделей використовується базова форма запису з зрівнювальною матрицею.

1) Використовуючи записані вище технологічні матриці запишемо первісну модель виробничого типу як систему рівнянь і цільову функцію:

$$\begin{aligned}
 \|g_i^{js}\| \cdot \{x_{js}\} - \|\lambda_i^i\| \cdot \{y_i\} &= \{y_i^0\} \\
 \|d_e^{js}\| \cdot \{x_{js}\} - \|\lambda_e^e\| \cdot \{y_e'\} &= \{0_e\} \\
 \|r_r^{js}\| \cdot \{x_{js}\} + \|\lambda_r^r\| \cdot \{r_r''\} &= \{r_r^0\} \\
 [-c^{js}] \cdot \{x_{js}\} - [p^i] \cdot \{y_i\} + [p^e] \cdot \{y_e\} &\rightarrow \max,
 \end{aligned} \tag{1.1}$$

або у компактній формі:

$$\begin{aligned}
 G \cdot X - A \cdot Y &= Y^0 \\
 D \cdot X - A' \cdot Y &= 0 \\
 R \cdot X + A'' \cdot R'' &= R^0
 \end{aligned} \tag{1.2}$$

$$-C \cdot X + P \cdot Y + P' \cdot Y' \rightarrow \max$$

Позначення: $\|\gamma_i^i\| = A$, $\|\lambda_e^e\| = A'$ та $\|\lambda_r^r\| = A''$ — це зрівнювальні матриці відповідно для основних та додаткових продуктів, екзогенних ресурсів (приресурсна зрівнювальна матриця); $\{y_i^0\} = Y^0$ — вектор фіксованих обсягів основних кінцевих продуктів; $\{y_i\} = Y$ — вектор деяких надлишкових обсягів основних кінцевих продуктів над фіксованими; $\{y_e'\} = Y'$ — вектор кінцевих обсягів додаткових продуктів. У моделях на реальних наборах вихідних даних може мати місце як надлишок, так і дефіцит (що покривається ввозом) цих продуктів і тому змінні Y' слід робити, як правило, вільними за знаком; $\{r_r^0\} = R^0$ — вектор фіксованих наявних обсягів екзогенних ресурсів; $\{r_r''\} = R''$ — вектор надлишкових обсягів екзогенних ресурсів; $[c^{js}]$, $[p^i]$ та $[p^e]$ — основний та два додаткових цільових вектори; $\{x_{js}\} = X$ — вектор інтенсивностей (валових випусків) використання технологічних способів; $\{0_e\} = 0$ — нуль-вектор. Зауважимо, що знаки всіх величин ресурсної системи рівнянь змінено на протилежні для того, щоб наявні обсяги ресурсів стали додатними. Це не впливає на розв'язок. Зауважимо, що елементи зрівнювальної матриці A'' мають, як правило дорівнювати +1, інакше розв'язок моделі може бути необмеженим (unbounded), оскільки потрібні обсяги наявних ресурсів стають необмеженими. Допустимо, щоб деякі елементи змінні приресурсної зрівнювальної матриці приймали нульові значення, тобто відповідні зрівнювальні змінні вилучаються. Але якщо всю приресурсну зрівнювальну матрицю вилучити, то розв'язок моделі ризикує стати несумісним (nonfeasible).

Змістовно, елементи цільового вектора $[-c^{js}]$ — це собівартості (іноді зведені витрати) виробництва основного та побічних продуктів js -м технологічним способом, елементи цільових векторів $[p^i]$ та $[p^e]$ — це деякі ціни відповідно одиниць основного та побічних продуктів. Для первісної моделі часткова цільова функція $P \cdot Y + P' \cdot Y'$ виражає критерій кінцевої

(товарної) продукції, повна цільова функція $-C \cdot X - P \cdot Y + P' \cdot Y'$ – критерій прибутку.

З точки зору практичного моделювання у первісній моделі основне навантаження на кінцеві обсяги мають здійснювати фіксовані обсяги основних кінцевих продуктів Y^0 . Якщо їх зробити нульовими, то модель має властивість виробляти лише декілька найвигідніших продуктів, навіть один, що не бажано. Тому надлишкові обсяги Y можуть мати лише незначні перевищення над фіксованими обсягами Y^0 . У той же час вказана властивість моделі дозволяє визначити найбільш ефективні модельні продукти та технологічні способи.

2) Друга модель — це класична модель Канторовича:

$$\begin{aligned} \|g_i^{js}\| \cdot \{x_{js}\} - \{k_i\} \cdot z &= \{y_i^0\} \\ \|d_e^{js}\| \cdot \{x_{js}\} - \|\lambda_e^e\| \cdot \{y_e'\} &= \{0_e\} \\ \|r_r^{js}\| \cdot \{x_{js}\} + \|\lambda_r^r\| \cdot \{r_r''\} &= \{r_r^0\} \\ + z &\rightarrow \max, \end{aligned} \quad (1.3)$$

або у компактній формі:

$$\begin{aligned} G \cdot X - K \cdot z &= Y^0 \\ D \cdot X - A' \cdot Y' &= 0 \\ R \cdot X + A'' \cdot R'' &= R^0 \\ z &\rightarrow \max, \end{aligned} \quad (1.4)$$

де $\{k_i\} = K$ — асортиментний вектор (термін Л.В. Канторовича) або пропорціонуючий вектор, що задає пропорції в обсягах кінцевих основних продуктів, формуючи, таким чином, певний асортиментний набір кінцевих продуктів; z — кількість вказаних наборів кінцевих продуктів. Інші позначення залишаються незмінними. Зауважимо, що модель Канторовича має натуральний (не вартісний) критерій оптимальності, а первісна модель — вартісний.

Наводимо модифікацію моделі Канторовича з вартісним критерієм оптимальності:

$$\begin{aligned}
 \|g_i^{js}\| \cdot \{x_{js}\} - \{k_i\} \cdot z &= \{y_i^0\} \\
 \|d_e^{js}\| \cdot \{x_{js}\} - \|\lambda_e^e\| \cdot \{y_e'\} &= \{0_e\} \\
 \|r_z^{js}\| \cdot \{x_{js}\} + \|\lambda_r^r\| \cdot \{r_r''\} &= \{r_r^0\} \\
 [-c^{js}] \cdot \{x_{js}\} + \pi \cdot z &\rightarrow \max,
 \end{aligned} \tag{1.5}$$

або у компактній формі:

$$\begin{aligned}
 G \cdot X - K \cdot z &= Y^0 \\
 D \cdot X - A' \cdot Y &= 0 \\
 R \cdot X + A'' \cdot R'' &= R^0 \\
 -C \cdot X + \pi \cdot z &\rightarrow \max,
 \end{aligned} \tag{1.6}$$

де π – вартість набору кінцевих основних продуктів як скалярний добуток $K \cdot P = \pi$, де P – вектор відомих апріорних цін на основні кінцеві продукти, які в принципі, можуть бути розраховані з інформації цієї ж моделі. Зауважимо, що часткова цільова функція $-C \cdot X$ може бути вилучена і тоді часткова цільова функція $\pi \cdot z$ виражає критерій кінцевої (товарної) продукції, а повна цільова функція $-C \cdot X + \pi \cdot z$ — критерій прибутку. Як бачимо, прибуток може бути обчислено за допомогою різних за структурою моделями.

Деякі особливості первісної моделі та моделі Канторовича є наступними.

Може виявитися як надлишок так і нестача обсягів додаткових продуктів Y' у відповідній системі рівнянь. У процесі моделювання й розрахунків елементи зрівнювальної матриці встановлюємо у -1 у разі надлишку та у $+1$ — у разі нестачі, що означає необхідність ввозу даного додаткового продукту. Відповідні зрівнювальні змінні покажуть необхідні обсяги надлишку або ввозу. Надлишок показує, що не всі можливості системи, що моделюється, використано. Іноді надлишок може бути наслідком протиріч у вихідних даних моделі.

Стосовно ресурсної системи обмежень можна зазначити наступне. Для виробничих фондів та операційних витрат проставляються наявні обсяги ресурсів, при цьому зрівнювальні змінні R'' можуть показати надлишок чи нестачу цих ресурсів. Для імпортованих екзогенних продуктів можна зробити інакше: проставити нульові значення R^0 , тоді обсяги імпорту визначаються як значення зрівнювальних змінних R'' у процесі розрахунку, при цьому відповідні елементи зрівнювальної матриці необхідно встановити у -1.

3) Модель на мінімум витрат має вигляд:

$$\begin{aligned} \|g_i^{js}\| \cdot \{x_{js}\} &= \{y_i^0\} \\ \|d_e^{js}\| \cdot \{x_{js}\} - \|\lambda_e^e\| \cdot \{y_e'\} &= \{0_e\} \\ \|r_z^{js}\| \cdot \{x_{js}\} + \|\lambda_r^r\| \cdot \{r_r''\} &= \{r_r^0\} \\ [c^{js}] \cdot \{x_{js}\} &\rightarrow \min, \end{aligned} \quad (1.7)$$

або у компактній формі:

$$\begin{aligned} G \cdot X &= Y^0 \\ D \cdot X - A' \cdot Y &= 0 \\ R \cdot X + A'' \cdot R'' &= R^0 \\ C \cdot X &\rightarrow \min, \end{aligned} \quad (1.8)$$

де $[c^{js}] = C$ – цільовий вектор витрат (як правило собівартостей, іноді зведених витрат) по технологічних способах. Модель на мінімум витрат дає такі валові випуски X , які гарантують випуск фіксованих обсягів кінцевих продуктів Y^0 при мінімальних сукупних витратах $C \cdot X$. Але якщо кінцеві обсяги завищено, то може не вистачити обсягів наявних ресурсів R^0 . Ця обставина дещо звужує сферу застосування моделей на мінімум витрат.

Вектор коефіцієнтів C цільової функції вищенаведеної моделі виражає деякі витрати на одиницю валового випуску. Об'єктивно існують два критерії оптимальності для моделі з фіксованими обсягами основних продуктів:

1) Собівартість виробництва, та/або транспортування та/або розподілу різних продуктів;

2) Зведені витрати, тобто собівартість плюс фондомісткість у розрахунку на одиницю валового випуску помножена на коефіцієнт економічної ефективності виробничих фондів.

Інші критерії оптимальності, наприклад, витрати праці, як натуральні, не вартісні критерії, мають лише історичний інтерес і не можуть бути використані у ринкових умовах. Зауважимо, що коефіцієнти C цільової функції розраховуються на основі інформації технологічних матриць G , D та R за умови повноти інформації стосовно всіх витрат за технологічними способами.

Різні цільові функції вимагають специфічних особливостей у структурі моделі. Так, для первісної моделі цільова функція:

$$Y \cdot P + Y^0 \cdot P + Y' \cdot P' + Y^0 \cdot P' \quad (1.9)$$

виражає вартісний критерій кінцевої продукції, а цільова функція:

$$-C \cdot X + Y^0 \cdot P + Y' \cdot P' + Y^0 \cdot P' \quad (1.10)$$

— критерій прибутку. Скалярні добутки $Y^0 \cdot P$ та $D^0 \cdot P''$ є константи і не впливають на процес розв'язку.

Модель леонтьєвського типу — четвертий тип моделей виробничого типу - є похідною від первісної моделі виробничого типу. Її віднесено до окремого специфічного типу, тому що вона на відміну від класичної моделі В. Леонтьєва має нові специфічні властивості, завдяки яким її можна використовувати для розрахунку цін за схемою ціни виробництва.

1.3 Математичний опис моделі розвитку виробництва з розподілом типу МРІ

Як зазначалося, в модельній конструкції розподілу інвестицій відсутні додаткові продукти (не формується додаткова технологічна матриця D , відсутнє друге рівняння в записі моделі (1.4)). Основні групи балансових

рівнянь в контексті економіко-математичної задачі, котра розглядається, мають вигляд, як подано нижче.

А) Рівняння балансу продуктів:

$$\sum_{j \in V_E \cup V_K} g_j^E \cdot x_j^{E,Q} - z \cdot k_E = 0 \quad (1.11)$$

$$\sum_{j \in V_Q \cup V_K} g_j^Q \cdot x_j^{E,Q} - z \cdot k_Q = 0 \quad (1.12)$$

Б) Блок технологічних способів резервування виробництва електроенергії:

$$g_m^{Rsv} X_m^{Rsv} - x_m^{Rsv} = 0 \Big|_{m=TEC, TEC} \quad (1.13)$$

$$\sum_{m=TEC, TEC} x_m^{Rsv} - X^{Rsv} = 0 \quad (1.14)$$

$$X^{Rsv} - \sum_{j \in V_E \cup V_K} h_j^{Rsv} \cdot x_j^{E,Q} = 0 \quad (1.15)$$

В) Рівняння балансу ресурсів палива:

$$\sum_{j \in V_E \cup V_K \cup V_Q} r_{ij}^{fuel} \cdot x_j^{E,Q} + \lambda_{ij}^{fuel} \cdot y_j^{fuel} = R_i^{fuel} \Big|_{i \in \Omega_{fuel, res}} \quad (1.16)$$

Г) Рівняння балансу фінансових ресурсів

– оплата праці та інші витрати:

$$r_j^{Wg \& O \exp} \cdot x_j^{E,Q} + \lambda_j^{Wg \& O \exp} y_j^{Wg \& O \exp} = 0 \Big|_{j \in V_E \cup V_K \cup V_Q} \quad (1.17)$$

– основні та обігові фонди:

$$r_j^{Assets} \cdot x_j^{E,Q} - \lambda_j^{Assets} \cdot y_j^{Assets} = 0 \Big|_{j \in V_E \cup V_K \cup V_Q} \quad (1.18)$$

Д) Рівняння розподілу загального обсягу інвестицій в основні та обігові фонди окремих технологічних способів виробництва електричної і теплової енергії на основі ВДЕ:

$$\sum_{j \in V_E \cup V_K \cup V_T} y_j^{Assets} + \Delta y^{Assets} = R_{\Sigma}^{INVFund} \quad (1.19)$$

Цільова функція. Необхідно досягнути максимальної кількості наборів кінцевих продуктів – електричної й теплової енергії, у співвідношенні, заданому пропорціонувальним (асортиментним) вектором Канторовича

$$z \rightarrow \max \quad (1.20)$$

де V_E, V_Q, V_K – множини (індексів) у межах загального числа представлених моделлю технологічних способів виробництва електричної, теплової енергії, а також комбінованого виробництва електричної і теплової енергії на основі ВДЕ; причому $x_j^{\cdot\cdot}$, $x_m^{\cdot\cdot\cdot}$, $y_{ij}^{\cdot\cdot}$, z – основні та зрівнювальні змінні, й серед них:

z – змінна Канторовича – «кількість наборів» кінцевих продуктів – електричної і теплової енергії, у пропорціях, заданих пропорціонувальним (асортиментним) вектором Канторовича: коефіцієнти k_E, k_Q при цій змінній – елементи пропорціонувального (асортиментного) вектора Канторовича, що відповідають кінцевим продуктам – електричній і тепловій енергії, відповідно;

$x_j^{E,Q}$ – основні змінні – інтенсивності використання технологічного способу j виробництва електричної, теплової енергії, або комбінованого виробництва електричної і теплової енергії на основі ВДЕ;

x_m^{Rsv} – основні змінні – обсяг електричної енергії, виробленої в традиційній технології m ($m = \text{ГЕС, ТЕС}$), що витрачається на резервування виробництва електричної енергії у всіх технологічних способах виробництва електричної енергії, або комбінованого виробництва електричної і теплової енергії на основі ВДЕ;

y_{ij}^{fuel} – зрівнювальна змінна в рівнянні балансу основних та обігових фондів технології (технологічного способу) j на основі ВДЕ, причому $i \in \Omega_{fuel, res}$, $\Omega_{fuel, res}$ - множина використаних палив і/або енергетичних ресурсів ;

y_j^{Assets} – зрівнювальна змінна обсягу інвестування в рівнянні балансу основних та обігових фондів технології (технологічного способу) j на основі ВДЕ;

$y_j^{Wg \& Oexp}$ – зрівнювальна змінна в рівнянні балансу фінансових ресурсів (коштів), що витрачених на оплату праці та інші витрати в технології (технологічному способі) j на основі ВДЕ;

Δy^{Assets} – зрівнювальна змінна загального обсягу інвестування в рівнянні балансу основних та обігових фондів нових технологій на основі ВДЕ.

Коефіцієнти основної, ресурсної та зрівнювальної матриць (в т н.е./1 випуску основного продукту):

g_j^E, g_j^Q – технологічні коефіцієнти витрат і втрат електричної і теплової енергії, відповідно, у технологічному способі j виробництва електричної, теплової енергії, або комбінованого виробництва електричної і теплової енергії на основі ВДЕ;

g_m^{Rsv} – технологічні коефіцієнти витрат і втрат електричної енергії на її виробництво в традиційній технології m ($m = \text{ГЕС, ТЕС}$) з метою резервування виробництва електричної енергії у всіх технологічних способах виробництва електричної енергії, або комбінованого виробництва електричної і теплової енергії на основі ВДЕ;

h_j^{Rsv} – технологічні коефіцієнти витрат електричної енергії ТЕС і ГЕС для резервування виробітку електричної енергії у технологічному способі j виробництва електричної енергії на основі ВДЕ;

r_{ij}^{fuel} – питомі витрати палива, або відновлюваного ресурсу i в технології (технологічному способі) j на одиницю обсягу виробленої електричної та/або теплової енергії;

λ_{ij}^{fuel} – елемент зрівнювальної матриці в рівнянні балансу обсягів палива, або відновлюваного ресурсу i , що використовується технологією (технологічним способом) j на основі ВДЕ;

$r_j^{Wg \& Oexp}$ – питомі витрати фінансових ресурсів (коштів) на оплату праці та інші витрати в технології (технологічному способі) j на одиницю обсягу виробленої електричної та/або теплової енергії;

$\lambda_j^{Wg \& Oexp}$ – елемент зрівнювальної матриці в рівнянні балансу фінансових ресурсів (коштів) на оплату праці та інші витрати в технології (технологічному способі) j на основі ВДЕ;

r_j^{Assets} – питомі витрати основних та обігових фондів в технології (технологічному способі) j на одиницю виробленої електричної та/або теплової енергії;

λ_j^{Assets} – елемент зрівнювальної матриці в рівнянні балансу основних та обігових фондів технології (технологічного способу) j на основі ВДЕ;

Позначення обсягів, валових випусків та ресурсів:

X_m^{Rsv} – загальний обсяг виробітку (брутто, валовий випуск) електричної енергії в традиційній технології m ($m = \text{ГЕС, ТЕС}$) необхідний для резервування виробництва електричної енергії у всіх технологічних способах виробництва електричної енергії, або комбінованого виробництва електричної і теплової енергії на основі ВДЕ;

X^{Rsv} – сукупний обсяг електричної енергії ТЕС і ГЕС для резервування виробітку електричної енергії у всіх технологічних способах на основі ВДЕ;

R_i^{fuel} – гранично- (потенційно-) досяжний загальний обсяг витрат палива, або відновлюваного ресурсу i у всіх технологіях (технологічних способах) на основі ВДЕ;

$R_{\Sigma}^{INVFund}$ – прогнозне значення загального обсягу інвестицій у розвиток всіх (відомих) технологій виробітку електричної і теплової енергії з використанням ВДЕ протягом розрахункового періоду моделювання.

1.4 Загальний опис економіко-математичної моделі оцінювання прогнозних обсягів виробництва теплової та електричної енергії технологічними установками на основі ВДЕ

Математичним задачам розвитку економічної діяльності в розрізі галузевого поділу в рамках планової економічної системи функціонування єдиного народно-господарського організму присвячено значну увагу представниками світової економічної науки, зокрема українськими вченими та вихідцями з України [4-6], котрих віднести до класиків сучасної економічної науки.

Найвагомішим здобутком дослідників є розвиток практики розв’язання економічних математичних задач методами економіко-математичного моделювання, зокрема застосування набули моделі виробничого типу за Канторовичем, котрі з огляду на специфіку їх запису дають можливості розраховувати числові оцінки обсягів та вартісних показників (цін) на асортимент продуктів, що випускається системою. В таких економіко-математичних моделях найвагомішим термінологічним поняттям є *технологічний спосіб* в сенсі, запропонованому Канторовичем: технологічному способу виробництва приписується властивість випускати один *основний* продукт модельованої системи (інші вважаються додатковим і/або побічними), споживаючи певні обсяги продуктів, випущених в результаті функціонування інших технологічних способів, та *зовнішніх ресурсів*, котрі модельованої системою не охоплюються, отже, постачаються зовні. Загалом, економічну систему характеризують чотири основні поняття: продукт, фонд, праця і технологічний спосіб. Перші три додатково об’єднують поняттям *інгредієнти*.

Стосовно модельованої енергетичної системи, технологічний спосіб в найпростішій інтерпретації можна пов'язати із функціонуванням технологічної установки, котра використовує той чи інший вид паливних чи енергетичних ресурсів для виробництва енергетичних продуктів – теплової та/або електричної енергії (далі «енергопродуктів») – з метою забезпечення попиту на їх споживання. В умовах ринку технологічні способи відображають конкурентні переваги виробників енергетичного обладнання, за допомогою якого технологія виробництва здатна функціонувати стійко та надійно. Технологічні способи, або «технології» різняться фондомісткістю, насамперед – відтак об'єктивно постає задача опрацювати дані, необхідні для оцінювання цих показників шляхом інженерно-економічних розрахунків.

Математично задачу розвитку сектору генерування енергії узагальнено можна розглядати як задачу розвитку існуючого або створення нового виробництва, що висвітлено у роботах [7-9] – відповідно до прогнозних даних інвестиційного плану.

У методологічному плані основним здобутком канд. економ. наук В.К. Добровольського є алгоритмізація процедур оброблення масиву текстових числових даних на аркуші електронних таблиць (рис. 1.3), основними елементами якого є ідентифікатори рядків і стовпчиків, формування стовпчиків-векторів у «Блоку вертикальних векторів», включно правих частин рівнянь математичної моделі, зрівнювальних змінних (за схемою симплекс-методу), оцінок цін та їх граничних значень; а також результати обчислень цільового вектора й змінних (обсягів виробництва енергопродуктів) з їх обмеженнями.

Розглянемо структуру компактної «моделі Канторовича з розподілом ресурсів при заданій їх сукупній вартості й заданими цінами (оцінками) ресурсів». Фрагмент табличного запису такої моделі подано на рис. 1.3 у форматі електронних таблиць MS Excel®. В ній тепла енергія разом з електроенергією утворюють клас основних продуктів. Оскільки моделлю передбачається відобразити можливі кількісні (обсягові) показники взаємодії

нових об'єктів генерування на основі ВДЕ з електроенергетичною системою (ЕЕС), теплоенергію вважатимемо побічним продуктом; але він не є додатковим в сенсі традиційного визначення. Класу додаткових продуктів у цій моделі не існує. Зауважимо, що у технологічному способі для тепло-електроцентралей (ТЕЦ) оцінки витрат ресурсів розраховуються на сумарний обсяг випуску енергопродуктів (електричної і теплової енергії разом).

Модель виконує розподіл основних й обігових фондів, що обслуговують функціонування галузевих технологічних способів (забезпечують функціонування технологій генерування за умов дотримання проектних технічних та економічних показників) – відповідно до розміру інвестиційного капіталу, спрямованого на розвиток галузі. Таким чином, в основі отриманих розрахункових результатів щодо обсягів виробництва енергопродуктів є прогнозні дані щодо фінансування галузі у вигляді інвестиційних коштів – незалежно від їх походження (внутрішні, зовнішні, приватні/державні чи банківський позичковий капітал).

У таблиці відображено три групи технологічних способів:

1. Технологічні способи виробництва теплової енергії, що відповідають основним типам відомих конкуруючих технологій, які випускають теплоту від згорання біомаси, біогазу тощо, а також утилізують енергію довкілля, включно безмежний (в рамках цієї задачі) потенціал сонячної та вітрової енергій;
2. Технологічні способи виробництва електричної енергії, що відповідають основним типам відомих технологій, конкурентоздатність яких на ринку України належить оцінити;
3. Технологічні способи резервування – «фіктивні» математичні конструкції, котрі відображають взаємодію електроенергетичної системи із новоствореними об'єктами виробництва електроенергії на основі ВДЕ (Е-ВДЕ), забезпечуючи автоматизований розрахунок обсягів, необхідних для резервування новостворених потужностей – в

залежності від вимог оператора електричних мереж щодо якості та надійності електропостачання.

Таблиця на рис. 1.3 також містить зображення стовпчика вектора Канторовича з його компонентами та смугу стовпчиків блока «Розподіл фондів».

Структура моделі містить традиційні для цього класу економіко-математичних моделей ресурсну та зрівнювальну матриці; остання представлена у вигляді вектора-стовпчика зрівнювальних змінних. Обмеження щодо використовуваних ресурсів занесено до стовпця «ПравЧаст» і чисельно відображають праві частини рівнянь (див. у розділі 1.2).

Розрахунок фондомісткості (основних та обігових фондів на одиницю виробленого енергопродукту) виконується на основі наявних фактичних або розрахункових даних щодо обсягів виробництва й витрат – за структурою витрат протягом життєвого циклу, як це для прикладу показано для декількох технологій, і використовуються на першому періоді функціонування модельованої економічної системи. Числові оцінки фондів згруповано у блоках *основних та обігових*, а також фондів *оплати праці та інших витрат*; кожному технологічному способу виробництва теплоти та електричної енергії відповідають два числові значення оцінок вартості фондів.

Розрахункові обсяги паливних ресурсів складаються з двох частин: 1) фіксовані обсяги у правих частинах; 2) обсяги, що розраховуються у процесі обчислень як додаткові до фіксованих у разі потреби. Ці «надлишкові» обсяги є значеннями зрівнювальних змінних при елементах зрівнювальної матриці. У деяких випадках надлишкові ресурси у разі їх наявності можуть бути відображені шляхом зазначення від'ємних границь обсягів у стовпчику «НижніГр».

Визначення технологічних коефіцієнтів витрат і втрат технологічних способів та компонент асортиментного вектора Канторовича. Технологічні коефіцієнти витрат і втрат електричної і теплової енергії у кожному технологічному способі j виробництва електричної, теплової енергії, або

комбінованого виробництва електричної і теплової енергії на основі ВДЕ – g_j^E (табл. 1.2), g_j^Q можуть бути оцінені як ефективні значення ККД відповідної технології на основі статистичних або довідникових даних.

Для технологічних способів комбінованого виробництва втрати енергії обліковуються з урахуванням сумарного ККД установки комбінованим циклом

		ЗОВНІШНЯ ЕНЕРГІЯ - РЕЗЕРВУВАННЯ ВДЕ					ТЕПЛОВА ЕНЕРГІЯ ВДЕ					ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГІЯ ВДЕ					АВК	
		ГЕС ОЕС: Україна	ГЕС ОЕС: Україна	Базисна частина зовнішньої енергії	Базисна частина зовнішньої енергії	Базисна частина зовнішньої енергії	Оптимізація витрат на опалювальні та санітарні потреби	Витрати на ТВД на персонал, ремонтні роботи, тощо	ТВД на виробництво та передачу теплоенергії (включаючи системи, опалювальні та санітарні потреби, 1-3 МВт, тощо)	Атомна енергетика (виробництво та передачу теплоенергії, системи, опалювальні та санітарні потреби, 1-3 МВт, тощо)	Витрати на персонал, ремонтні роботи, тощо	Генератори (виробництво теплоенергії)	Менше, < 10 МВт	ВЕС	СВЕС	Витрати на персонал, ремонтні роботи, тощо	Автоматизований центр керування	
		ColNmDr - Імена стовпців																
		tp.01.1	tp.01.2	tp.01.3	tp.01.4	tp.01.5	tp.02.1	tp.02.2	tp.02.3	tp.02.4	tp.02.5	tp.03.1	tp.03.2	tp.03.3	tp.03.4	tp.03.5	av.00	
RowNmDr		Основна матриця																
pr.01	Електрична енергія ГЕС ОЕС, т.к.к.	0,97		-1														
pr.02	Електрична енергія ГЕС ОЕС, т.к.к.		0,97		-1													
pr.03	Е/с зовнішня, піку, мегаватт, т.к.к.			1	1	-1												
pr.04	Е/с розподільна від ГЕС, т.к.к.					1												
pr.05	Теплова енергія, т.к.к. (ГЕС)						0,7	0,76	0,9	0,86	0,82						-0,2	
pr.06	Електрична енергія, т.к.к. (ГЕС)							0,1			0,48	0,83	0,86	0,86	0,86	0,83	-0,8	
re.51	Дрова, сухий стов						0,3224	0,0000	0	0	0							
re.52	Тростина, напилком, вологість 20%						0,3463	0,3463	0	0	0							
re.53	Тростина, напилком, вологість 40%						0	0,2436	0	0	0							
re.54	Тростина, напилком, вологість 50%						0	0,1935	0	0	0							
re.55	Тростина, утробована, вологість 40%						0	0,2436	0	0	0							
re.56	Стружка, утробована, вологість 7-15%						0	0,3702	0	0	0							
re.57	Тростина, вологість 33-35% (напилком)						0	0,4080	0	0	0							
re.58	Пилок (брикет) з дерева						0,4120	0,4120	0	0	0							
re.59	Пилок (брикет) з соломи						0,3762	0,3762	0	0	0							
re.60	Пилок (брикет) з лушпиння соняшникова						0	0,4359	0	0	0							
re.61	Електрична енергія, сухий стов						0	0,3105	0	0	0							
re.62	Солома зерновка, вологість 15%, жито						0,3439	0	0	0	0							
re.63	Солома зерновка, вологість 15%, жито						0	0,3439	0	0	0							
re.64	Солома ріпак						0	0,3702	0	0	0							
re.65	Біогас із мікроорганізмів, 55% метану						0	0	0	0	0,2293							
re.66	Біогас із ТБО метану, 30% метану						0	0	0	0	0					0,2993		
re.67	Складні потрати (накопичення тепла)								1,2				0,78					
re.68	Енергія геотермальної води													0,7				
re.69	Гідроенергетичні ресурси									0,3								
re.70	Енергія сонця														0,45			
re.71	Енергія вітру															0,17		
re.72	Оплата праці та інші витрати 1, тис. дол.						0,02											
re.73	Оплата праці та інші витрати 2, тис. дол.							0,04										
re.74	Оплата праці та інші витрати 3, тис. дол.								0,012									
re.75	Оплата праці та інші витрати 4, тис. дол.									0,05								
re.76	Оплата праці та інші витрати 5, тис. дол.										0,023							
re.77	Основні та обігові фонди 1, тис. дол.						0,08											
re.78	Основні та обігові фонди 2, тис. дол.							0,11										
re.79	Основні та обігові фонди 3, тис. дол.								0,15									
re.80	Основні та обігові фонди 4, тис. дол.									0,4								
re.81	Основні та обігові фонди 5, тис. дол.										0,15							
re.82	Оплата праці та інші витрати 1, тис. дол.											0,0560						
re.83	Оплата праці та інші витрати 2, тис. дол.												0,0828					
re.84	Оплата праці та інші витрати 3, тис. дол.													0,0758				
re.85	Оплата праці та інші витрати 4, тис. дол.														0,1249			
re.86	Оплата праці та інші витрати 5, тис. дол.															0,0245		
re.87	Основні та обігові фонди 1, тис. дол.											0,5368						
re.88	Основні та обігові фонди 2, тис. дол.												0,0723					
re.89	Основні та обігові фонди 3, тис. дол.													0,3967				
re.90	Основні та обігові фонди 4, тис. дол.														0,6490			
re.91	Основні та обігові фонди 5, тис. дол.															0,1400		

Рисунок 1.3 – Фрагмент табличного подання моделі у форматі електронної таблиці

(адитивної суми значень ККД по теплоті й електричній енергії).

Технологічні коефіцієнти h_j^{Rsv} витрат електричної енергії ТЕС і ГЕС, яка спрямовується для цілей резервування виробітку електричної енергії у технологічному способі j виробництва електричної енергії на основі ВДЕ, встановлюються дослідником відповідно до вимог оператора електричних мереж щодо якості та надійності електропостачання у вигляді частки від розрахункового валового випуску енергопродукту «електрична енергія» $x_j^{E,Q}$ відповідного технологічного способу, наприклад з діапазону значень від 0,05 до 0,5.

Значення компонент асортиментного вектора Канторовича («АВК» на рис. 1.3 та табл. 1.1) визначано дослідником відповідно до бажаного співвідношення між валовими випусками енергопродуктів модельованої системою. У табл. 1.1 вони становлять 0,2 та 0,8 відповідно, а нормоване значення «1» відповідає максимальному розрахунковому випуску енергопродуктів, котре забезпечує модельована система в результаті пошуку оптимального розподілу інвестицій за заданих обмежень на палива та енергетичні ресурси.

Визначення питомих витрат палива та енергетичних ресурсів.
 Розрахунки питомих витрат палива r_{ij}^{fuel} (табл 1.2) (в т н.е./т для твердих біопалив або т н.е./тис. м³ для біогазу) для виробництва теплової енергії із біомаси виконано на основі даних щодо енергетичних характеристик палив представлено у розділі 2.1. Рівні споживання із зазначенням номінального обсягу вироблення визначаються через паспортні дані котельного обладнання. Для розрахунку витрат біогазу в тис. т н.е./1000м³ використано дані щодо обсягу виробництва біогазу біогазовою установкою із відходів птахоферми, із вмістом метану до 55% і калорійністю 4708 ккал/м³ Ця технологія є комбінованою – забезпечує одночасне виробництво теплової й електричної енергії приблизно в однакових обсягах; розрахункові значення енергетичних показників взято згідно матеріалів другого розділу.

Таблиця 1.1 – Технологічні коефіцієнти витрат і втрат технологічних способів виробництва та резервування та компоненти асортиментного вектора Канторовича

	ГЕС ОЕС України	ТЕС ОЕС України	Е/е зовн., підсумовування	Е/е зовн., підсумовування	Е/е резервування	Опалювальні котли на соломі та пелетах	Котли та ТЕЦ на біомасі	ТНУ	ІКУНт	Біогазова установка, теплова енергія	ГеоТЕС - електроенергія (бінарна установка)	Малі ГЕС, < 10 МВт	ВЕС	СФЕС	Біогазова установка, ел/енергія	Асортиментний вектор Канторовича
Електрична енергія ГЕС ОЕС, т.н.е.	0,97		-1													
Електрична енергія ТЕС ОЕС, т.н.е.		0,97		-1												
Е/е зовнішня, підсумовування, т.н.е.			1	1	-1											
Е/е резервування від ОЕС, т.н.е.					1						-0,1	-0,1	-0,3	-0,3	-0,1	
Теплова енергія, т.н.е. (Гкал)						0,7	0,75	0,9	0,85	0,32						-0,2
Електрична енергія, т.н.е. (ГВт·год)							0,1			0,46	0,63	0,95	0,95	0,95	0,93	-0,8

Витрати енергії вітру та сонячного випромінювання пов'язані з показниками перетворення цих первинних видів енергії у електричну енергію (для геліоколекторів типу ІКУН – у теплоту проміжного носія). Відтак орієнтирами є досягнуті технологічні рівні ККД перетворення, що демонструють сучасні енергетичні установки та пристрої перетворення: у випадку вітрової енергії – це показник перетворення вітрової енергії для регульованого вітроагрегату; а для сонячних фотоелектричних установок – середнє значення ККД фотоелектричних модулів (СФЕМ).

Коефіцієнт перетворення вітру $c_p(\lambda, \theta)$ швидкохідного трилопатевого колеса ВЕУ, оснащеної засобами регулювання кута повороту лопатей (pitch control system, [10]), є залежним від відношення лінійних швидкостей кінця лопаті та вітру λ та кута повороту лопатей θ [10, 11] і на практиці коливається в межах 0,15 – 0,46; верхнім граничним його значенням є 16/27 (закон Бетца – «Betz limit»). Для розрахунків, результати котрих проаналізовано нижче в розділі 4, прийнято $c_p(\lambda, \theta) = 0,45$.

Середньозважене значення КДД для СФЕМ за всіма типами технологій виготовлення СФЕМ, що є комерціалізованими для застосування в умовах конкурентного ринку [12], прийнято на рівні вже досягнутого значення 0,17.

Таблиця 1.2 – Коефіцієнти питомих витрат палива та енергетичних ресурсів

	ТНУ	ІКУНт	Біогазова установка, теплова енергія	ГеоТЕС	Малі ГЕС, < 10 МВт	ВЕС	СФЕС	Біогазова установка, ел/енергія
Біогаз із відходів тваринництва, 55% метану			0,2293					
Біогаз із ТБО сміттєзвалищ, 50% метану								0,2993
Скидні потоки (низькопотенціальна теплота)	1,2							
Енергія геотермальних вод				0,76				
Гідроенергетичні ресурси					0,7			
Енергія сонця		0,3					0,17	
Енергія вітру						0,45		

Визначення показників фондомісткості. Виконано на підставі попередньо обчислених оцінок собівартості виробництва теплової та електричної енергії новими енергетичними об'єктами – за всіма технологіями із набору, охоплених технологічними способами моделі зі структурою на рис. 1.3. Розрахунки собівартості здійснювалися без врахування дії механізму субсидування (системи «зелених тарифів»), чим зумовлюється рівність умов інвестування в умовах вільного конкурентного ринку.

Питомі вартісні показники (питомі витрати фінансових ресурсів $r_j^{Wg \& Oexp}$ і r_j^{Assets}) на одиницю випуску енергопродукту в тонах нафтового еквіваленту (Тое) визначені з використанням даних щодо капітальної вартості об'єктів (CAPEX) – на основі техніко-комерційних пропозицій на спорудження таких об'єктів з урахуванням ринкової цінової кон'юнктури на сучасне енергетичне обладнання (див. матеріали додатків). Наприклад, дані щодо орієнтовної вартості котельного обладнання враховують середньостатистичну вартість твердопаливних котлів вітчизняного виробництва.

Уточнення даних щодо фондомісткості за схемою моделі життєвого циклу в дійсній вартості грошей здійснено шляхом врахування збільшення ефективної сукупної вартості від витрат на обслуговування банківської позики за ставкою 5% в розмірі 60% від початкової проектною вартості – для кожної технологічної установки за типовим проектом.

Також враховано деяку орієнтовну вартість робіт з приєднання до електричних мереж установок Е-ВДЕ, однак без врахування вартості таких робіт щодо інтеграції нових об'єктів до мережі централізованого тепlopостачання – у зв'язку з великою розбіжністю таких даних за індивідуальним проектами в залежності від його локалізації. Обсяги інвестицій не розподіляються на витрати, пов'язані із розвитком розподільних електричних та теплових мереж.

Для технологічних способів виробництва теплової енергії розрахунок фондомісткості також передбачає врахування певного запасу палива, наприклад, з розрахунку роботи протягом одного опалювального сезону.. Наприклад, для котла тепловою потужністю 1,0 МВт враховано обсяг витрат деревного палива типу «тріска» в обсязі 5000 м³ (насипна вага ~0,25 т/м³) за ціною 200 грн/м³. Це відповідає запасу палива на 2 опалювальні сезони, що загалом відповідає практиці господарювання власників приватних домогосподарств в Україні: для котла встановленою потужністю 20 кВт_{тепл} розрахунковий (річний) запас палива на один опалювальний складе 50 м³ тріски, загальною вартістю 10 тис. грн в цінах 2017 року.

На основі прогнозного річного терміну функціонування об'єкта у розділі 3.2 обчислено питомі показники поточних операційних витрат на обслуговування, витрат на оплату праці та інших витрат (непередбачуваних – Wages&Other expenses). Обчислення так само виконано з розрахунку на одиницю випуску кожного енергопродукту в тис. дол. США/1 т н.е. (kUSD/т н.е.).

Програмне забезпечення моделі MPI. Табличний процесор MS Excel[®] та мова програмування VBA [13]. Оброблення даних, яке супроводжує оптимізаційний розрахунок, виконується засобами табличного процесора Excel та мови програмування VBA (*Visual Basic for Applications*). VBA – є достатньо потужним засобом програмування, орієнтованим на оброблення даних на аркушах електронної книги табличного процесора MS Excel.

Оптимізаційна програма ***Lp_solve***. Це є універсальна програма розв'язку задачі лінійного програмування та деяких її узагальнень. Оптимізаційна програма ***Lp_solve*** пропонується як некомерційна програма вільного для використання (shareware). Існує Internet-товариство користувачів цього програмного продукту.

Програмний засіб ***Lp_solve*** розроблено на алгоритмічній мові програмування C. Вона дає змогу розв'язувати задачі лінійного програмування

розміром до 50 000 обмежень, а також (при значно менших розмірах) цілочислові, булевочислові та змішані задачі. Програма має 26 параметрів-налаштувань. Недолік програми *Lp_solve* – слабка діагностика, що виявляється у випадку, коли розв’язок задачі є недопустимим (infeasible) чи необмежений (unbounded): у таких випадках розв’язок не видається.

Програма *Lp_solve* сприймає вихідні дані в текстовому MPS-форматі, а результатні видає в текстовому файлі, що містить оптимальне значення цільової функції, прямі та двоїсті значення змінних тощо. Загальну структуру MPS-формату наведено в таблиці 1.3. Детальний опис специфіки використання стандарту вихідних даних у MPS-форматі наведено у монографії [1].

Таблиця 1.3 – Загальна структура MPS-формату

Характеристики поля	Позиції						
	1—4		5—12		15—22		25—36
Довжина	4	1	8	2	8	22	12
Вміст	Тип запису		Ім’я рядка		Ім’я стовпчика		Коефіцієнт

Два елементи асортиментного вектора Канторовича задають бажані пропорції виробництва теплової та електричної енергії; фактичні обсяги отримуються множенням цих елементів на кількість асортиментних наборів z . Модель Канторовича працює так, щоб отримати якомога більше кінцевих продуктів у заданих співвідношеннях з максимальним використанням всіх ресурсів.

Таким чином модель з розподілом інвестицій (MPI) – фінансових дає можливість визначити структуру виробництва різними технологіями зумовлену визначеною на етапі розроблення інформаційного забезпечення структурою основних й обігових фондів з відповідним розподілом витрат екзогенних ресурсів – палив та енергетичних ресурсів.

Висновки

1. Інформаційне забезпечення є важливим етапом та необхідною умовою організації і виконання економіко-математичного моделювання. Воно має відповідати таким властивостям, як адекватність, актуальність, вірогідність, об'єктивність, повнота.

2. Математичним задачам розвитку економічної діяльності в розрізі галузевого поділу в рамках планової економічної системи функціонування єдиного народно-господарського організму присвячено значну увагу представниками світової економічної науки [14,15], зокрема українськими вченими та вихідцями з України, котрих можна віднести до класиків сучасної економічної науки. Сучасна класична економічна наука постала завдяки зусиллям Канторовича Л.В., академіка В.С. Немчинова, лауреата Нобелівської премії В.В. Леонтьєва, велике число їх послідовників підтримали та розвинули їх ідеї.

3. Модель з розподілом фінансових інвестицій (MPI) дає можливість визначити структуру виробництва різними технологіями зумовлену визначеною на етапі розроблення інформаційного забезпечення структурою основних й обігових фондів з відповідним розподілом витрат екзогенних ресурсів – палив та енергетичних ресурсів.

4. У даному розділі визначені технологічні коефіцієнти витрат і втрат технологічних способів виробництва та резервування та компоненти асортиментного вектора Канторовича, а також коефіцієнти питомих витрат палива та енергетичних ресурсів які використовується у моделі для розрахунків.

2 РЕСУРНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РОЗВИТКУ ЕНЕРГОСИСТЕМИ ВИРОБНИЧОГО ТИПУ

Україна має значний технічно-досяжний потенціал вироблення енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива, який становить понад 64 млн т н. е. на рік (табл. 2.1). За оцінками міжнародного агентства IRENA, Україна має найкращий серед країн Південно-Східної Європи.

Очікується, що у наступні 10 років вартість технологій ВЕС та СЕС знизиться на 13% та 57% відповідно, що значно сприятиме впровадженню ВДЕ в Україні. За умови стабільного економічного та політичного середовища, та покращення умов фінансування проєктів ВДЕ, Україна зможе значною мірою модернізувати та забезпечити енергонезалежність електричної та теплової генерації за рахунок технологій відновлюваної енергетики.

Таблиця 2.1 – Потенціал вироблення енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії

Первинний енергоносіє	Енергетичний потенціал,	
	млрд кВт*год	млн т н.е.
Вітрова енергія	174,4	15
Енергія сонячного випромінювання	48,8	4,2
Енергія водяного потоку малих річок	24,4	2,1
Біоенергетика	252,3	21,7
Геотермальна енергія	97,7	8,4
Теплота доквілля	146,5	12,6
Всього	744,2	64

2.1 Біоенергетика

Відходи біомаси – це цінна сировина для харчової, хімічної, переробної, легкої промисловості та в системах біоконверсії. Її слід використовувати її як паливний ресурс, і зовсім не в останню чергу. Слід враховувати, що в процесі господарської діяльності велика кількість біомаси залишається невикористаною. Так, при заготівлі деревини та її переробці з відходами втрачається близько 50% біомаси. До основних джерел біомаси належать:

- відходи тваринництва;
- рослинні залишки сільськогосподарського виробництва – солома, листя, стружка;
- тверді побутові відходи комунального господарства міст;
- промислові відходи і побутові відходи міст.

Основними складовими потенціалу рослинного походження є первинні агровідходи (солома, відходи виробництва кукурудзи на зерно і соняшника) та енергетичні культури, вирощування яких у промислових масштабах активно розвивається в країні останніми роками.

Україна дійсно має високо розвинутий сектор сільського господарства, зокрема, рослинництва, який щорічно генерує великий обсяг різноманітних відходів та залишків. Відходи поділяються на первинні, тобто ті, що утворюються безпосередньо при збиранні врожаю сільськогосподарських культур, і вторинні – такі, що утворюються при обробці врожаю на підприємствах. Первинні відходи включають солому зернових та інших культур, відходи виробництва кукурудзи на зерно і соняшника (стебла, стрижні, кошики тощо). Вторинні відходи – це лушпиння соняшника, лушпайка гречки, рису, жом цукрового буряку і тому подібне. Частина відходів та залишків використовується на потреби самого сільського господарства (органічне добриво, підстилка та корм для худоби), частина – іншими секторами економіки, а решта біомаси залишається незадіяною і часто

утилізується (спалюється в полі, вивозиться на звалище) без принесення користі.

Для рослинних залишків характерною є особливість сезонної відтворюваності. Пік використання їх припадає на другу половину літа та осінь. Польові культури дають більше рослинних залишків, ніж овочеві. У першому наближенні кількість рослинних залишків, що збирають, для даної сільськогосподарської культури можна визначити шляхом множення маси даної культури на характерну для неї частку залишку, що є відношенням сухої маси наземних залишків до маси зібраного з польовою вологістю врожаю. Значну частину біомаси, що не використовується, видається доцільним залучити до виробництва енергії. В Україні щорічно збирається понад 50 млн т зернових культур [16]. У значних обсягах солома і рослинні відходи, як побічні продукти сільськогосподарського рослинництва.

Країна має доступної біомаси понад 21 млн т н. е. на рік (табл. 2.2) при зафіксованій потребі 11 млн т н. е. на рік. Біоенергетичний потенціал України еквівалентний 25,4 млрд куб м природного газу на рік на 6,8 млрд дол. на рік при ціні газу 270 дол. за тис. куб. Найбільший потенціал твердої біомаси зосереджений у Полтавській, Дніпропетровській, Вінницькій та Кіровоградській областях і становить понад 1,0 млн т н.е./рік. [17,18].

Основною сировиною експерти БАУ вбачають використання соломи, стебла та продукти їх механічної переробки (гранули, пелети). У зв'язку з цим на кінець горизонту прогнозування передбачається значний приріст котельного обладнання – індивідуального та у складі комерційних ТЕЦ – із використанням саме цього типу біомаси (солома, стебла). Наразі на енергетичні потреби в Україні використовується лише близько 10% загального потенціалу біомаси – 2 млн т н.е./рік. Головним чином це деревна біомаса у вигляді дров, тріски, гранул/брикетів (загалом 87,2% всього річного обсягу використання біомаси), та лушпиння соняшника (6,6%) [17].

Таблиця 2.2 – Енергетичний потенціал біомаси в Україні

Вид біомаси	Теоритичний потенціал, млн т н.е.	Потенціал доступний для енергетики	
		Частка теоретичного потенціалу, %	Млн т н.е.
Солома зернових культур	36,1	30	3,75
Солома ріпаку	2,1	40	0,29
Відходи виробництва кукурудзи на зерно (стебла, стрижні)	36,5	40	2,79
Побічні продукти вир-ва соняшника (стебла, корзинки)	25,9	40	1,48
Вторинні відходи с/г (лушпиння, жом)	2,0	86	0,71
Деревна біомаса (дрова, порубкові залишки, відходи деревообробки)	6,6	94	1,55
Деревна біомаса (сухостій, деревина із захисних лісосмуг, відходи ОВБСН)	8,8	44	1,03
Біодизель (з ріпаку)	-	-	0,16
Біоетанол (з кукурудзи та цукрових буряків)	-	-	0,66
Біогаз з відходів та побічної продукції АПК	1,6 млрд м ³ СН ₄	50	0,68
Біогаз з полігонів ТПВ	0,6 млрд м ³ СН ₄	34	0,18
Біогаз із стічних вод (промислових та комунальних)	1,0 млрд м ³ СН ₄	23	0,19
Енергетичні культури:			
- верба, тополя, міскантус	11,5	100	4,88
- кукурудза (біогаз)	3,2 млрд м ³ СН ₄	100	2,57
Торф	-	-	0,28
Всього	-	-	21,22

У таблиці 2.3 наведено питомі витрати палив у технологічних способах моделі.

Таблиця 2.3 – Питомі витрати палив у технологічних способах моделі

Вид твердого біопалива	Характеристики	Нижча теплотворна здатність, МДж/кг	Нижча теплотворна здатність, Гкал/т	Нижча теплотворна здатність, т н.е./т
Дрова	сухий стан	13,5	3,2243	0,3224
Тріска деревна, насипом	вологість 20 %	14,5	3,4632	0,3463
	вологість 40 %	10,2	2,4362	0,2436
	вологість 50 %	8,1	1,9346	0,1935
Тріска деревна, утрамбована	вологість 40 %	10,2	2,4362	0,2436
Стружка деревна, утрамбована	вологість 7 - 15 %	14 – 17	3,7020	0,3702
Тирса деревна, насипом	вологість 33 - 38 %	16-18	4,0603	0,4060
Пелети (брикети)	з дерева	17 – 17,5	4,1200	0,4120
	з соломи	15,5 – 16	3,7617	0,3762
	з лушпиння соняшника	18 – 18,5	4,3588	0,4359
Енергетична деревина	сухий стан	12,5 – 13,5	3,1049	0,3105
Солома зернових	вологість 15 %, малі тюки	14,4	3,4393	0,3439
	вологість 15 %, великі тюки	14,4	3,4393	0,3439
Солома ріпаку	вологість 9 %	15,5	3,7020	0,3702

2.2 Вітроенергетика

Вітроенергетика — галузь альтернативної енергетики, яка спеціалізується на перетворенні кінетичної енергії вітру в електричну енергію.

Вітрові електростанції набувають все більшої ваги у складі енергосистем багатьох країн. Їх питома потужність досягає 10% і більше. Збільшення частки виробництва електроенергії ВЕС в загальному споживанні супроводжується низкою проблем, зумовлених нестабільністю вітру та невизначеності миттєвих і усереднених значень (щогодинних, середньодобових тощо). Випадковий характер зміни потужності ВЕС у часі зумовлює необхідність розв’язання задач керування балансом потужності у вузлі енергосистеми вже за незначної частки вітрової енергетики в загальному енергоспоживанні, особливо з урахуванням зростання обсягів використання ВДЕ у середньостроковій перспективі— енергії вітру, сонячної інсоляції насамперед. Моделі моніторингу та керування, що опираються на показники процесу електрогенерації з погодинною дискретизацією не задовольняють вимог щодо підтримання балансу вже на рівні електропостачальних систем [19].

Зокрема, постають задачі: поточного планування роботи енергогенеруючих об’єктів, а також визначення резерву електричної потужності, з урахуванням можливостей акумулювання електроенергії. Для забезпечення стабільного постачання електроенергією за умов випадкового змінного (в часі) характеру її споживання певна частина генерувальної потужності має перебувати в стані готовності (різного ступеню) до початку періоду, що розглядається. Наявність вітрогенераторів ВЕС підвищує рівень вимог до сукупної потужності резервних енергоустанов, зокрема до швидкості процесу її уведення, також до засобів керування ВЕС, приєднаних до електромережі. Тому розв’язування задач забезпечення стійкості і стабільності енергопостачання вимагає передбачення поведінки ВЕС практично у режимі реального часу.

На рисунку 2.1 зображена карта вітроенергетичного потенціалу України.

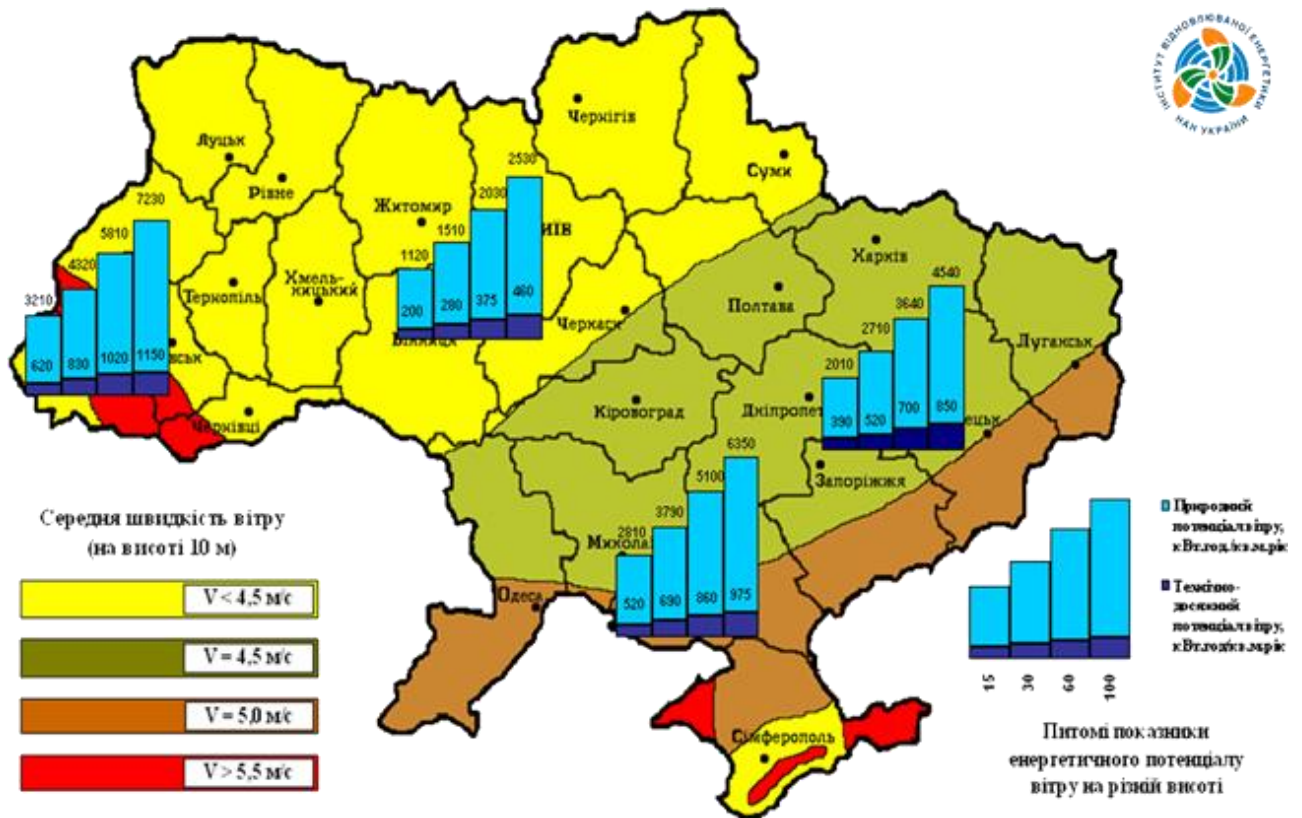


Рисунок 2.1 – Карта вітроенергетичного потенціалу України

Якісні практичні результати моделювання прогнозних значень швидкості вітру й моделювання можливих рівнів потужності ВЕС є важливою передумовою розв’язання всього комплексу задач [20].

Математичні моделі роботи ВЕС з урахуванням стохастичної природи вітру як джерела енергії потребують знання ймовірнісних характеристик вітру і відповідної потужнісних характеристик ВЕУ. При цьому вітер можна вважати величиною випадковою за визначенням, а потужність ВЕУ пов’язана зі швидкістю вітру функціональною залежністю, а отже також випадкова. Питома потужність ВЕУ (або щільність потужності) на 1 м^2 визначається за густини повітря $\rho = 1.225 \text{ кг/м}^3$ в нормальних умовах як:

$$p = 0,5 \rho V^3 ,$$

де V – середня швидкість вітру. Швидкість вітру, що у дійсності змінюється випадково, може мати вигляд як на рис. 2.2 (здійснено близько 200 вимірів

протягом кожних 10 хв на висоті 50 м над поверхнею землі; всього N=144 усереднених значення):

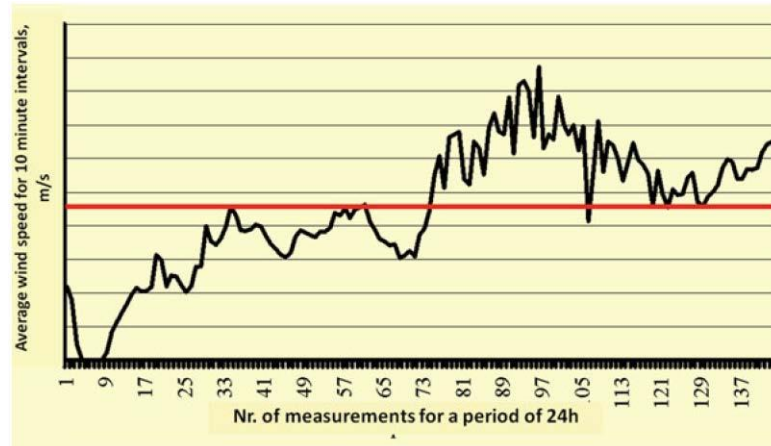


Рисунок 2.2 – Приклад варіації швидкості вітру протягом 24 годин

Середня питома потужність характеризує потенціал вітрової енергії у даному локальному місці розташування ВЕУ, і на підставі вимірів рис. 2.2 може бути розрахована через середню арифметичну швидкість (4.49 м/с – червона лінія):

$$p = 0.5 \rho V^3 = 0.5 \cdot 1.225 \cdot 4.449^3 = 54.5 \text{ Вт/м}^2.$$

Середнє значення потужності ВЕС на часовому проміжку від моменту t_i до $t_i + \tau$ для невід’ємних значень швидкості v визначають через потужність ВЕУ $P(v)$ за формулою:

$$W_i(\tau) = \tau \int_0^{\infty} P(v) F_{\tau}(v) dv, \quad (2.1)$$

де $F_{\tau}(v)$ – функція щільності розподілу вітру стосуватиметься даного часового проміжку; $\tau=1$ година.

Енергетичну характеристику (рівняння кривої потужності ВЕУ) $P(v)$ записують шляхом апроксимації. Наприклад, діапазон ймовірних швидкостей ділять на n інтервалів, в кожному фіксують середнє значення швидкості

(середина інтервалу), після чого визначають значення щільності розподілу через кількість вимірів m_i із сукупного числа N , які потрапляють у кожен із інтервалів:

$$F(v) = (m_i / N) \Delta V_i .$$

Наприклад, крива щільності розподілу змінної швидкості вітру, зображеної на рис.2.2, буде мати вигляд (рис. 2.3), а відповідна крива питомої потужності – кривою (рис.2.4) ($n=9$):

$$p = 0.5 \rho \sum_{i=1}^9 V_i^3 F(V_i) = 83.9 \text{ Вт/м}^2, -$$

це значення є на 54% більшим від значення розрахованого вище – лише на основі середньодобової швидкості вітру. Найбільш значення щільності ймовірності потужності (35,5%) відповідає інтервалу швидкостей між 6÷7 м/с, в той час як найбільш ймовірна швидкість вітру становить 3-4 м/с. Таким чином, моделювати можна як безпосередньо швидкість вітру, так і результуючу потужність ВЕС, які характеризуються однією функцією щільності розподілу.

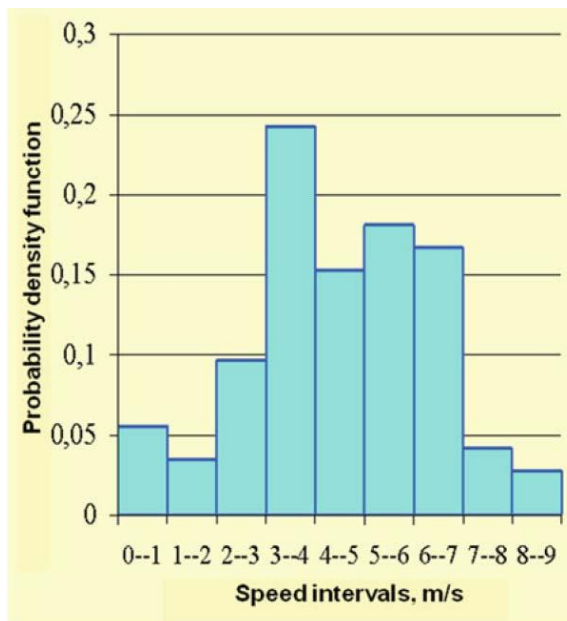


Рисунок 2.3 – Швидкість вітру

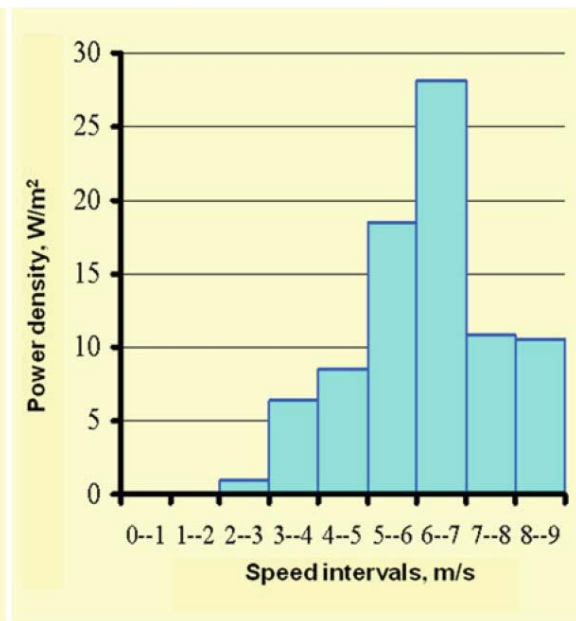


Рисунок 2.4 – Потужність ВЕУ

Представлення функціональної залежності потужності ВЕУ існують різні; розробниками ВЕУ вони подаються зазвичай у табличному або графічному вигляді й називаються кривою потужності ВЕУ.

Певну методологію у сфері статистичної кліматології вітру досить детально розроблено і вона застосовується для визначення вітрового потенціалу місцевості за розрахунковими даними найбільш вживаних моделей. Переважно дві моделі використовуються для аналізу параметрів рози вітрів (включно на основі середніх швидкостей вітру, функції щільності розподілу):

– модель розвинута країнами Європейського Союзу (ЄС) – відома як WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program) [21, 22], на основі якої розроблено атлас вітру для країн Європейського континенту (The European Wind Atlas (EWA) [20]), що містить дані про вітропотенціал 15-и країн ЄС; модель ґрунтується на теорії вітрових потоків.

– модель для території американського континенту, розроблена NASA за підтримки U.S. Air Force (США), яка ґрунтується на теорії динаміки кліматичних умов [23].

Для опису розподілу швидкості вітру застосовують функцію розподілу Вейбула (Weibull distribution function, [24]):

$$F(V) = \frac{k}{A} \left(\frac{V}{A} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{V}{A} \right)^k \right], \quad (2.2)$$

де A і k параметри розподілу Вейбула: A – масштабуючий коефіцієнт, k – коефіцієнт форми. Застосовуючи ці параметри для кожної метеорологічної станції 15 країн Європи [20] визначено середньорічну швидкість вітру через співвідношення:

$$\bar{V} = A \cdot G \left(1 + \frac{1}{k} \right),$$

де $G(1+1/k)$ – інтеграл Ейлера другого роду, значення якого наведено у [21].

Відомі стохастичні моделі й методи моделювання розроблені здебільшого з урахуванням впливу *нормально розподілених* випадкових величин. Втім, розподіл швидкості вітру відрізняється від нормального хоча б тому, що швидкість вважається додатною, тому обмежена знизу нульовим значенням і теоретично не обмежена зверху згідно (2.1). Отже, розподіл повинен мати позитивну асиметрію.

В роботі [24] розглянуто особливості нормального розподілу до опису швидкості вітру та потужності ВЕУ з огляду на перспективи його використання у стохастичних моделях ВЕС у складі енергосистем. Нормальність розподілу є умовою коректності застосування процесу Орнштейна-Уленбека в якості математичної моделі генерації ВЕС.

Розглянуто декілька способів числового моделювання негаусового розподілу швидкості вітру, зокрема співставляються результати апроксимації на основі поліномів Ерміта (симетричний), розподілу Вейбула та нормального у порівнянні з фактичними статистичними даними вимірів – в залежності від інтервалу усереднення (година, доба, місяць і висоти гондоли ВЕУ на рівнем землі. Щодо швидкості автор дійшов висновку, що розподіл швидкості вітру протягом доби з 1-годинним інтервалом осереднення в більшості випадків може бути достатньо коректно описаний за допомогою нормального закону, тоді як для 10-хвилинних інтервалів чи для місячного терміну застосування такого закону виглядає не виправданим. Висновок стосується всього діапазону досліджених висот, від 20 до 80 м.

Для типової енергетичної характеристики ВЕУ функція щільності розподілу потужності як випадкової величини близька до гіперболи (рис. 2.4), [25]:

$$f_p(P) = f[v(P)] \cdot \left| \frac{dv}{dP} \right| \approx \frac{Const}{P^2}. \quad (2.3)$$

Гістограма потужностей має більш несиметричний вигляд, ніж швидкостей вітру. Характерними для розподілу потужності ВЕУ є локальні максимуми в області малих та великих значень (рис. 2.4), оскільки технологічні обмеження зазвичай діють з метою використання діапазону робочих швидкостей $V \geq 4$ м/с (у межах від стартової швидкості до її граничного значення, що відповідає номінальній потужності ВЕУ).

2.3 Гідроенергетика

2.3.1 Оцінювання технічного потенціалу гідроенергетичних ресурсів малих річок України

Потенційні можливості малої гідроенергетики України на період до 2030 року оцінені в Енергетичній стратегії 2006р. на рівні 1140 МВт потужності з річним обсягом виробництва електроенергії 3,34 млрд кВт·год/рік. В чинній редакції Енергетичної стратегії (схвалена КМ України 24 липня 2013 р. № 1071-р) зазначено, що економічно доцільний потенціал малих гідроелектростанцій (ГЕС) в Україні становить до 4 ГВт. Станом на кінець 2017 року в Україні в експлуатації знаходилось 117 малих ГЕС загальною потужністю всього 93 МВт з середньорічним обсягом виробництва електроенергії біля 210-230 млн кВт·год/рік.

В Україні нараховується понад 63 тис. малих річок і водотоків загальною довжиною 135,8 тис. км, з них близько 60 тис. (95%) є дуже малими (довжиною менше 10 км). Із трьох тисяч більш довгих малих річок 890 (28%) мають площу водозбору від 50,1 до 100 км², ще 797 (25%) – із площею водозбору 20,1 – 50 км². Основною гідрологічною характеристикою річки є її середній багаторічний стік, або норма річного стоку.

2.3.2 Проблеми та перспективи розвитку малої гідроенергетики: і вплив ГЕС на навколишнє середовище

Планами розвитку гідроенергетики передбачалося довести встановлену потужність українських ГЕС та ГАЕС до 14,5 ГВт, із перспективним обсягом вироблення електроенергії понад 17 ТВт·год у разі завершення будівництва Унізької ГЕС на ріці Дністер, ГЕС та ГАЕС у Закарпатті в складі енергокомплексів та споруджених окремо ГАЕС, а також шляхом спорудження малих міні- та мікроГЕС. Певна частка об'єктів малої гідроенергетики підлягає відновленню та модернізації, а також розглядаються реконструкції існуючих ГЕС у ГАЕС з метою підвищення резерву маневреної потужності в режимах регулювання.

Гідроенергетичні об'єкти мають істотний вплив на навколишнє середовище [26]. З огляду на характер впливу, оцінки розрізняють: довготривалому періодові безпосередньої експлуатації передують період спорудження і МГЕС. Відповідно, природоохоронні обмеження на використання гідроенергетичного ресурсу річки враховують два типи таких обмежень: обмеження на використання води для виробництва електроенергії малою ГЕС (санітарний попуск, безперервне функціонування рибоходів, межень, повені та паводки, оперативні заходи з регулювання водного потоку через гідроспоруди) та обмеження на використання території для спорудження гідроелектростанцій (національні природні парки, заповідники, пам'ятки природи, місця покладів корисних копалин та мінеральних вод, історико-культурні території, земельні ділянки спеціального призначення) [27].

2.3.3 Математична модель для розрахунку технічного потенціалу гідроенергетичних ресурсів

Математична модель, представлена в роботі [28] ґрунтується на використанні вертикального профілю річки, імовірнісного розподілу витрат стоку води, обмежень на використання стоку води та території для

спорудження малих ГЕС. Вертикальний профіль річки розділено на M ділянок з наступною нумерацією відносно витоків: $j=1,2,3,\dots,M$. Поточну координату протяжності на ділянці, довжину ділянки, перепад висот та середнє значення витрат стоку на ділянці позначено відповідно як l_j , L_j , H_j та Q_j . Кількісні значення критеріїв екологічної цінності території k_{ej} та критеріїв нахилу вертикального профілю k_{Hj} для j -ої ділянки річки визначались наступним чином: $k_{ej}, k_{Hj} = 1$ – будівництво ГЕС дозволено, $k_{ej}, k_{Hj} = 0$ – будівництво ГЕС заборонено.

Величина гідроенергетичного ресурсу всієї річки, з урахуванням критеріїв екологічної цінності території кожної ділянки, дорівнює сумі складових впродовж течії:

$$E = gT\eta \sum_{j=1}^M \left[k_{ej} \cdot k_{Hj} \frac{H_j}{L_j} \int_{Q_{j\min}}^{Q_{j\max}} \left(\int_{l_{jn}}^{l_{jk}} Q_j dl_j \right) f(Q_j) dQ_j \right] \quad (2.4)$$

$$\text{за умови } Q_{j\min} < Q_j < Q_{j\max}; k_{ej} = 1 \vee 0; k_{Hj} = 1 \vee 0,$$

де E – потенціальна енергія потоку, кВт·год/рік; g – прискорення вільного падіння, м/с²; T – кількість годин у році, год; η – коефіцієнт корисної дії станції; $Q_{j\min}$, $Q_{j\max}$ – мінімальне та максимальне значення витрат води для виробництва електроенергії; Q_j – витрати води за результатами строкових спостережень на j -ій ділянці річки, $f(Q_j)$ – диференційна щільність річного імовірнісного розподілу витрат води; V – позначення операції диз'юнкція.

Для визначення диференційної щільності $f(Q_j)$ використано трипараметричний гама-розподіл у формі Крицького-Менкеля:

$$f(Q_j) = dF(Q'_j)/dQ_j, \quad (2.5)$$

$$F(Q'_j) = \begin{cases} 0, & \text{за } Q'_j < 0 \\ \left[\frac{\Gamma(\gamma+b)}{\Gamma(\gamma)} \right]^{\frac{\gamma}{b}} \frac{1}{\Gamma(\gamma) Q_{cp} b} \int_0^{Q'_j} e^{-\left[\frac{\Gamma(\gamma+b) Q'_j}{\Gamma(\gamma) Q_{cp}} \right]^{\frac{1}{b}}} \left(\frac{Q'_j}{Q_{cp}} \right)^{\frac{\gamma}{b}-1} dQ'_j, & \text{за } Q'_j \geq 0, \end{cases} \quad (2.6)$$

де $F(Q'_j)$ – функції розподілу витрат води Q' , Q_{cp} – середнє значення випадкової величини за період спостережень; γ, b – параметри розподілу, що залежить від коефіцієнтів варіації C_v та асиметрії C_s для строкових результатів спостережень за витратами води; $\Gamma(\dots)$ – символ гама-функції відповідного аргументу. Однак, питання визначення величини Q_{cp} автор залишив поза увагою.

Ординати функції $F(Q'_j)$ в [28] подано через модульні коефіцієнти k_p в залежності від коефіцієнтів варіації та асиметрії для строкових результатів спостережень за витратами води, і розрахункової забезпеченості стоку p :

$$k_p = Q'_j / Q_{cp}, \quad p(k_p) = 1 - F(k_p). \quad (2.7)$$

Графічні залежності коефіцієнта $k_p(p)$ в функції забезпеченості стоку (гідроресурсу) для специфічних інтервалів коефіцієнтів варіації та несиметрії (ймовірнісних параметрів) зображено на рис. 2.5. З урахуванням обмежень на використання води робочий діапазон забезпеченості був визначений в межах $p=[10; 90]\%$ можна використати лінійну апроксимацію для подальшого аналітичного розрахунку забезпеченості витрат у наступному вигляді:

$$p = \frac{p_2 - p_1}{k_{p2} - k_{p1}} k_p + \frac{p_1 \cdot k_{p2} - p_2 \cdot k_{p1}}{k_{p2} - k_{p1}}, \quad (2.8)$$

де p – розрахункова забезпеченість водного потоку, p_1, p_2 – значення забезпеченості стоку, через які проводиться лінійна функція при умові, k_{p1}, k_{p2} – значення модульних коефіцієнтів для рівнів забезпеченості p_1 , та p_2 відповідно.

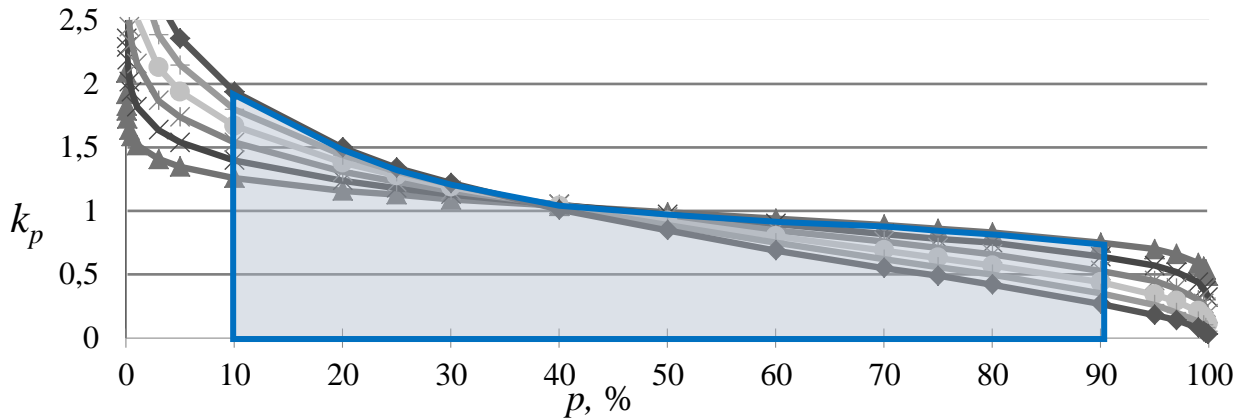


Рисунок 2.5 – Залежність модульного коефіцієнта k_p від забезпеченості p , за $C_s/C_v=2$ та значеннях $C_v=[0,2; 0,8]$

Дослідження вертикальних профілів основних 215 малих річок України виконано з використанням комп'ютерної програми Google Earth Pro. На основі результатів досліджень різних річок рекомендовано будувати вертикальний профіль малої річки на основі визначення рельєфу місцевості в площині, що перпендикулярна течії (рис.2.6).

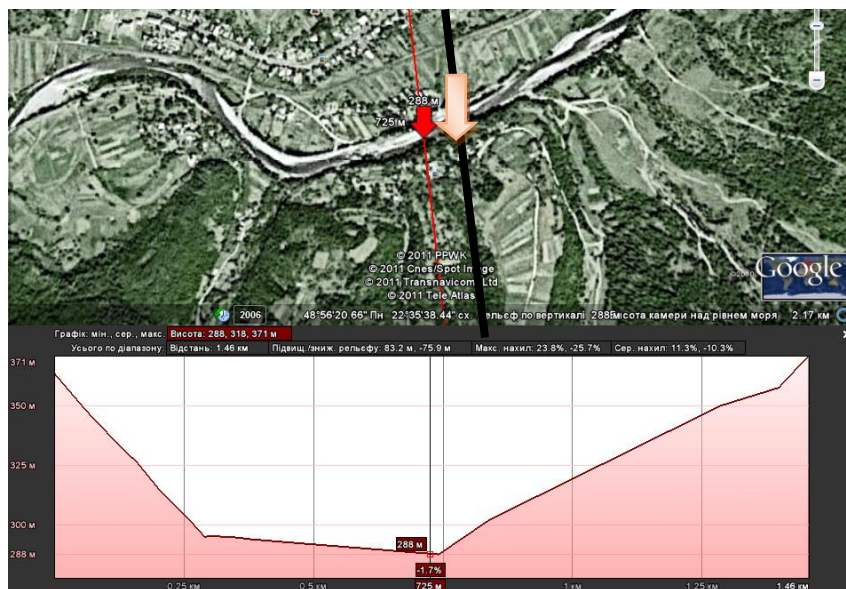


Рисунок 2.6 – Зразок побудови поперечного профілю рельєфу в площині перпендикулярній течії малої річки

Аналітичний розв'язок математичної моделі (2.5) отримано за умови лінеаризації функції забезпеченості витрат для визначення гідроенергетичного потенціалу одного створу малої річки в разі спорудження малої ГЕС з урахуванням обмежень на використання води та з різною кількістю агрегатів у складі станції. Встановлено, що очікувана максимально можлива похибка визначення гідроенергетичного потенціалу, спричинена лінійною апроксимацією функції забезпеченості витрат, для переважної більшості малих річок України складає 3 – 7%. Розв'язок моделі з застосуванням імовірнісного розподілу для малої ГЕС з кількістю гідроагрегатів однакової потужності не більше трьох автор [28] отримав у вигляді:

$$E = \frac{g \cdot \eta \cdot Q_{cp} \cdot k_p \cdot H \cdot T}{n \cdot 10^5} (p_Q + p_{Q_{\frac{n-1}{n}}} + p_{Q_{\frac{n-2}{n}}} - n \cdot p_2), \quad (2.9)$$

$$\text{за умов } 10\% \leq p_Q, p_{Q_{\frac{n-1}{n}}}, p_{Q_{\frac{n-2}{n}}} \leq 90\%, \quad \frac{n-1}{n}, \frac{n-2}{n} > 0, \quad (2.10)$$

де Q_{cp} – середня багаторічна витрата води створу, k_p – модульний коефіцієнт, якій залежить від C_v та C_v/C_v , n – кількість встановлених агрегатів на станції, $p_Q, p_{Q_{\frac{n-1}{n}}}, p_{Q_{\frac{n-2}{n}}}$ – значення забезпеченості режиму одночасної експлуатації трьох, двох та одного агрегатів.

Результати розрахунків гідрологічних характеристик для створу р. Стрий у с. Новий Кропивник дали можливість стверджувати, що станція з одним агрегатом найменш ефективна за різної забезпеченості використання стоку річки. Найбільша віддача встановленого обладнання характерна для варіантів побудови станції з двома або трьома агрегатами.

Застосування додаткового агрегату збільшує обсяг виробництва електроенергії станції з одним або двома основними агрегатами. Проте, для варіанту станції з додатковим агрегатом збільшується також величина встановленої потужності, відповідно збільшується і обсяг інвестицій. В процесі

експлуатації такої станції будуть наявні складності в проведенні ремонтних робіт у зв'язку з різними конструкціями агрегатів. Питомий обсяг виробництва електроенергії на 1 кВт встановленої потужності для різних варіантів побудови станції показано на рисунку 2.7.

Зрештою, одним із результатів дослідження є висновок щодо техніко-економічних показників МГЕС: на основі виявленої шляхом розрахункових експериментів непропорційності зміни обсягів виробництва електроенергії у порівнянні зі змінами встановленої потужності для всіх значень забезпеченості стоку. У більшості випадків при збільшенні встановленої потужності на 50%, обсяг виробництва електроенергії збільшується не більше ніж 20%. Тому було зроблено висновок, що як показник гідроенергетичного потенціалу створу доцільно використовувати обсяг виробництва електроенергії, а величину встановленої потужності застосовувати як додатковий довідковий показник для визначення обсягу інвестицій. Цей результат був врахований у нормах державного стандарту «Гідроенергетика. Гідроелектростанції малі. Терміни та визначення понять».

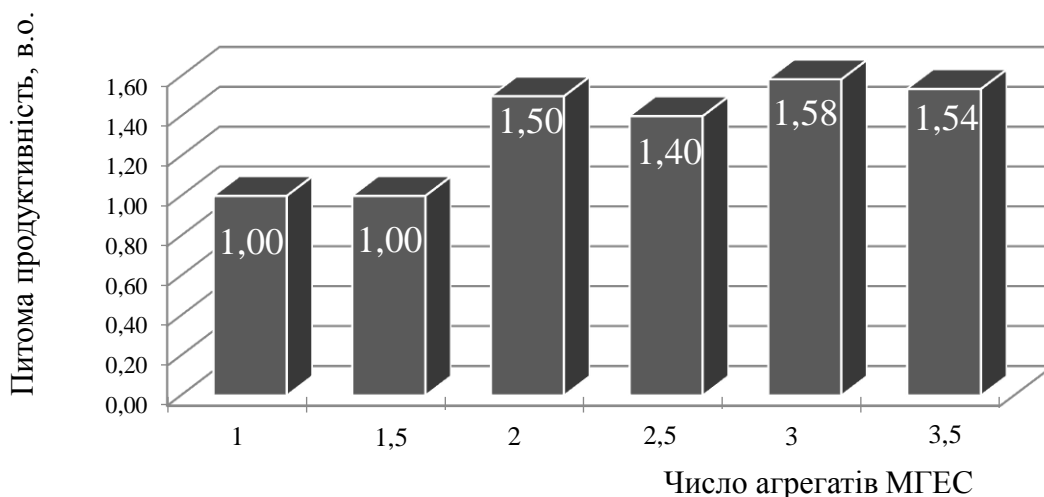


Рисунок 2.7 – Питома продуктивність малої ГЕС, в.о.

Природний та технічний потенціалу малих річок на території України коефіцієнти використання гідроенергетичного ресурсу малих річок визначено

для шести гідрологічних зон (рис. 2.8), до яких входять річки зі схожими гідрографічними та орографічними показниками території:



Рисунок 2.8 – Розподіл території країни на гідрологічні зони

Загальна кількість гідрологічних пунктів дорівнювала 320, а кількість досліджуваних річок складала 166 одиниць. Досліджувались ділянки річок з витратами води в межах (2-150)м³/с та нахилом вертикального профіля більше 0,12м/км, що в залежності від типу конструкції ГЕС (гребельна, дериваційна) відповідає потужності станції в межах 50 кВт–10 МВт.

Для кожної гідрологічної зони розраховувався природний потенціал стоку (E_{np}) всіх малих річок згідно математичної моделі (2.4) з урахуванням (2.7) за умов: $\eta = 1,0$; $k_{ej} = 1$; $k_{Hj} = 1$; $p = 1,0$.

Величина технічного потенціалу гідрологічної зони визначалась як сума потенціалу всіх річок в зоні. Значення технічного потенціалу всієї території країни (E_T) визначалось за формулою:

$$E_T = \sum_{i=1}^n (E_{m_i} + 0,7k_{евр_i} \sum_{j=1}^J E_{np_j}) , k_{евр_i} = E_{m_i} / E_{np_i} \quad (2.11)$$

де $i=1,2,3,\dots,n$ – нумерація гідрологічних зон, $j=1,2,3,\dots,J$ – нумерація розрахункових річок гідрологічної зони. Величину E_m розраховано за наявними значеннями C_v та C_s , а за їх відсутності – за результатами досвіду спорудження станцій на цій річці, або за результатами виконаних раніше проектно-пошукових даних.

Розподіл технічного потенціалу за географічними зонами наведено на рис.2.9.

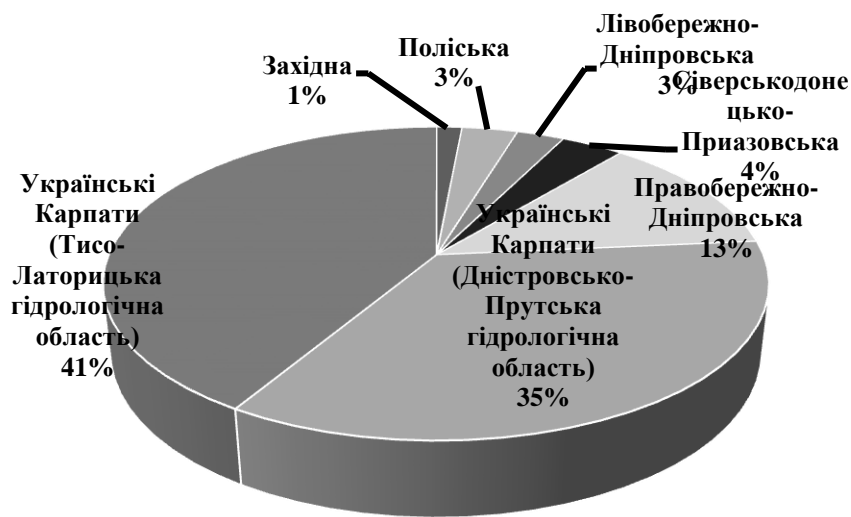


Рисунок 2.9 – Розподіл технічного гідроенергетичного потенціалу малих річок за гідрологічними зонами

Таким чином, за даними Інституту відновлюваної енергетики НАН України абсолютне значення технічного потенціалу гідроенергетичних ресурсів малих річок країни знаходиться на рівні 1270 млн кВт·год/рік, з них освоєно біля 250 млн кВт·год/рік (рис.2.10). Відповідні значення потужності малих ГЕС складають: знаходиться в експлуатації станом на кінець 2017 року – 93 МВт, підлягає відновленню – 12 МВт, залишається неосвоєним – 270 МВт.

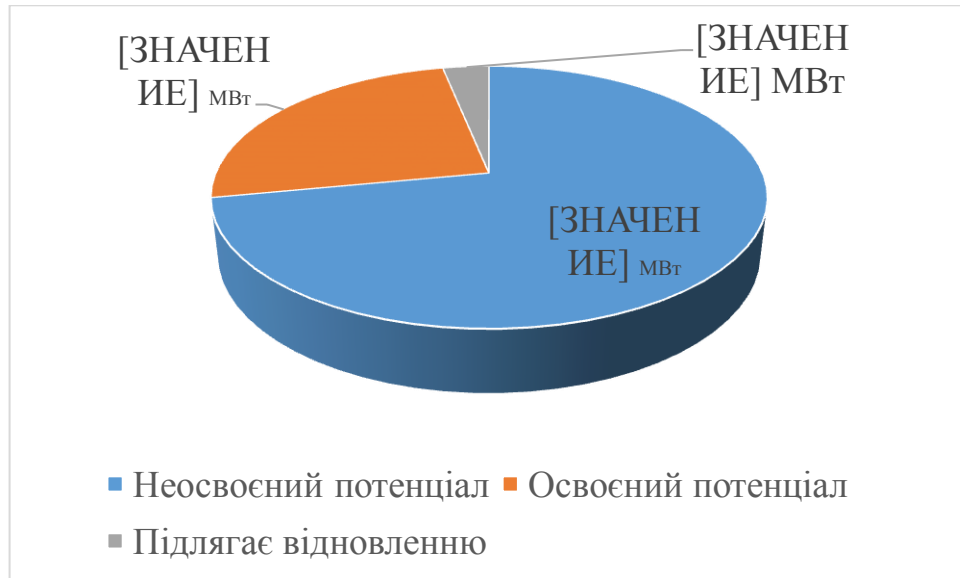


Рисунок 2.10 – Технічний гідроенергетичний потенціал малих річок України

2.4 Енергія сонця

За висновками науковців, найголовнішим джерелом енергії є Сонце. Приблизно 30% сонячної енергії, досягаючи Землі, відбивається назад у космос, 47% – витрачається на нагрівання земної поверхні, 22% – на кругообіг води у природі, 0,1% – на утворення вітру, хвиль, океанічних течій і лише 0,03% поглинається під час фотосинтезу. Щорічно земна поверхня одержує від Сонця енергію у кількості 31 024 Дж. Якщо порівняти цю величину з оцінками енергії, що міститься у розвіданих запасах енергоємних корисних копалин, то стане зрозуміло, що за один тиждень Земля отримує від Сонця таку кількість енергії, яка більше ніж удвічі перевищує всі відомі запаси енергії на Землі.

Сьогодні для перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію існує два способи: використання сонячної енергії як джерело тепла для вироблення електроенергії традиційними способами (наприклад за допомогою турбогенераторів), або ж безпосередньо перетворювати її в електричний струм за допомогою сонячних елементів. Сонячну енергію використовують також

після її концентрації за допомогою дзеркал – для плавлення речовин, дистиляції води, нагрівання, опалювання тощо.

Потенціал використання сонячної енергії в Україні (рис. 2.11) є достатньо високим для широкого впровадження як теплоенергетичного, так і фотоенергетичного обладнання. Середньорічна кількість сумарної сонячної енергії, що надходить на 1 км² території України, становить майже 1070 кВт·год у північній частині країни та 1400 кВт·год і вище у південних областях.

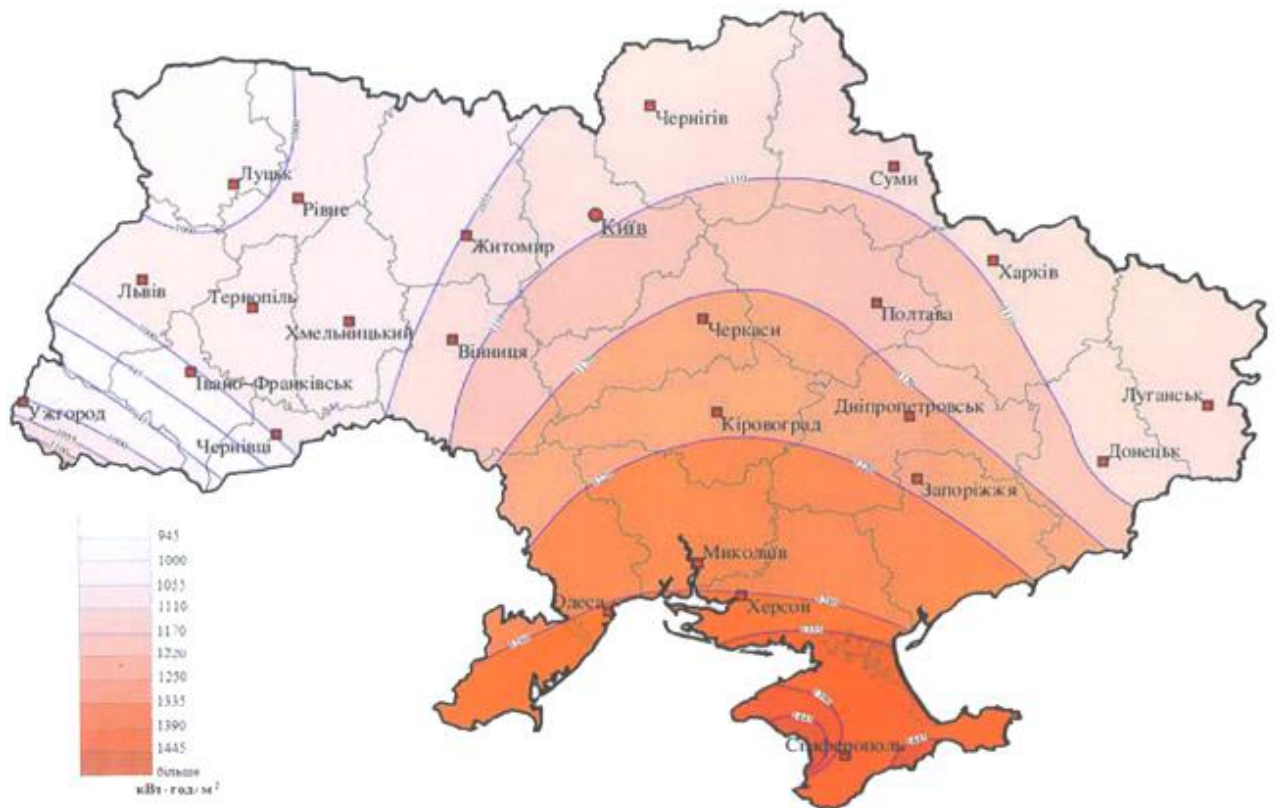


Рисунок 2.11 – Розподіл питомої сонячної радіації протягом року

Дослідники [20, 29] виокремлюють два класи моделей Сонця, придатних для цілей електроенергетики: параметричні і декомпозиційні. Моделі кожного з типів мають свої особливості.

Оцінювання середньодобових рівнів інсоляції виконують наступним чином. Земля обертається по еліптичній орбіті навколо Сонця протягом 1 року з Сонцем в одному фокусі. Крім того, Земля обертається навколо своєї осі, що робить один оберт за 24 год. Вісь обертання Землі має фіксований напрямок у

просторі і нахилена під кутом $\delta_0 = 23,5^\circ$ між площиною орбіти та екваторіальною площиною (рис. 2.12). Кут між напрямком Сонця і екваторіальною площиною називається кутом схилення δ і змінюється протягом року від $+23,5^\circ$ в день літнього сонцестояння (21 червня) до $-23,5^\circ$ під час зимового сонцестояння (21 грудня). 21 березня і відповідно 21 вересня схилення $\delta=0$ (дні весняного і осіннього рівнодення). Схилення може бути розраховане за формулою [20]:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284+n}{365}\right), \quad (2.12)$$

де n кількість днів у році, вважаючи перший день – 1 січня.

Якщо розрахунки виконуються на основі середньомісячних величин, рекомендується використовувати середнє число днів для кожного місяця, й відповідну кількість n днів представлено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Номер середньодобового дня для місяця і його значення n [31]

Місяці	Місяць	n для i дня місяця	Для середньодобового дня місяця		
			Дата	n , кількість днів в році	δ (градуси)
Січень	1	i	17	17	-20,9
Лютий	2	$31+i$	16	47	-13
Березень	3	$59+i$	16	75	-2,4
Квітень	4	$90+i$	15	105	9,4
Травень	5	$120+i$	15	135	18,8
Червень	6	$151+i$	11	162	23,4
Липень	7	$181+i$	17	198	21,2
Серпень	8	$212+i$	16	228	13,5
Вересень	9	$243+i$	15	258	2,2
Жовтень	10	$273+i$	15	288	-9,6
Листопад	11	$304+i$	14	318	-18,9
Грудень	12	$334+i$	10	344	-23

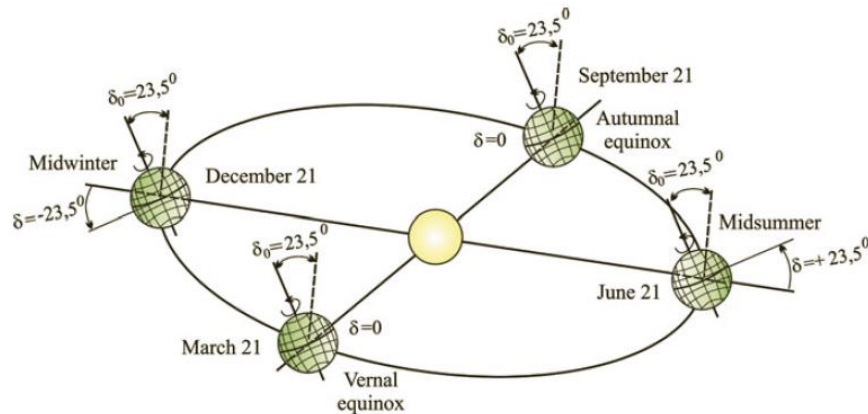


Рисунок 2.12 – Орбіта Землі і схилення кута δ

Кут падіння β до площини – кут між площиною і горизонтальною поверхнею, $0 \leq \beta \leq 180$. Для нормальних сонячних одиниць максимальне значення не перевищує 90° .

Азимутальний кут γ – кут між проекцією нормалі до сонячної панелі на горизонтальну площину і лінією локального меридіану; за початок відліку приймається південний напрямок, відхилення до сходу вважається додатнім, до заходу – від’ємним $-180 \leq \gamma \leq 180$.

Азимутальний кут Сонця γ_s – кут між південним напрямком і проекцією на горизонтальну площину прямого випромінювання сонячного світла (рисунок 2.13, справа).

Кут сходження Сонця α_s – кут між горизонтом і лінією, що з’єднує Сонце і необхідну точку.

Зенітний кут θ_z – кут між вертикаллю і лінією, що з’єднує Сонце і необхідну точку, доповнює кут α_s .

Годинний кут ω_l визначає положення Сонця на небі в даний момент часу. Його значення є нульовим, коли Сонце перетинає місцевий меридіан, іншими словами, опівдні; додатніми – для сходу і від’ємними – для заходу (рисунок 2.13). Відповідно $+\omega_s$ відповідає куту сходу Сонця, а $-\omega_s$ – куту заходу Сонця.

Очевидно, що протягом години Сонце пробігає кутовий шлях 15° , відтак його положення в будь-який момент T визначається за виразом:

$$\omega_I = 15(12 - T) \quad (2.12)$$

Якщо відомі кути δ , ϕ та ω , то положення Сонця в небі, можна визначити для будь-якої широти, часу і дня, використовуючи вирази [20]:

$$\sin \alpha_s = \sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \omega_I = \cos \theta_z, \quad (2.13)$$

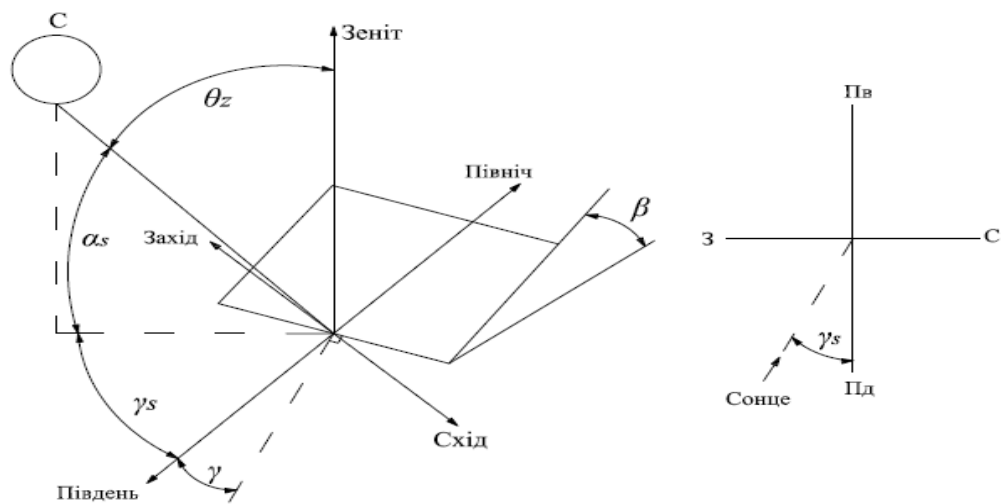


Рисунок 2.13 – Пояснення кутів: кут падіння β , азимутальний кут γ , азимутальний кут Сонця γ_s , кут сонячного сходження α_s , зенітний кут θ_z

$$\cos \gamma_s = \frac{\sin \alpha_s \cdot \sin \phi - \sin \delta}{\cos \alpha_s \cdot \cos \phi}. \quad (2.14)$$

Для будь-якого дня року, схилення δ може бути визначено з рівняння (2.11, годинний кут ω_I визначається з рівняння (2.12) для часового поясу T і знаючи широту місця ϕ , кут сходження може бути визначений із (2.13).

Визначення погодинних рівнів інсоляції для обчислення ефективної потужності СФЕУ визначають наступним чином. Погодинне позаземне випромінювання на горизонтальній поверхні G_o (МДж/м²) може бути визначено:

$$G_0 = \frac{24}{\pi} \cdot I_{sc} \cdot E_o \cdot \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \left[\sin \omega_s - \left(\frac{\pi}{180} \right) \cdot \omega_s \cdot \cos \omega_s \right], \quad (2.15)$$

де $I_{sc}=1367 \text{ Вт/м}^2$ – сонячна константа ($1367 \cdot 3,6 \text{ кДж/м}^2$ – в одиницях енергії на висоті $h=1 \text{ км}$); ω_s – кут заходу Сонця (в градусах). Авторами [29] показано, що відношення погодинної сумарної радіації I_t до денного глобального випромінювання G_t можливо знайти через G_0 (2.15):

$$\frac{I_t}{G_t} = \frac{I_0}{G_0}, \quad (2.16)$$

причому I_0 – це позаземне годинне випромінювання, МДж/м^2 , яке може бути визначене за залежністю:

$$I_0 = I_{sc} \cdot E_o \cdot (\sin \delta \cdot \sin \varphi + 0,9972 \cdot \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega_1), \quad (2.17)$$

де I_{sc} – сонячна константа; E_o – поправочний коефіцієнт ексцентриситету; δ – кут схилення Сонця, в градусах; φ – широта, в градусах; ω_1 – кут Сонця на поточну годину дня, в градусах.

Співвідношення (2.16) у дослідженні [29] проаналізовано графічно, для чого побудовано криві коефіцієнта співвідношення годинної радіації до денного глобального випромінювання $r_t = I_t / G_t$ від кута заходу Сонця. Емпіричний вираз математично представлений у вигляді співвідношення:

$$r_t = \frac{I_t}{G_t} = \frac{I_0}{G_0} (a_2 + b_2 \cdot \cos \omega_1), \quad (2.18)$$

в якому коефіцієнти обчислюють за емпіричними залежностями від кута заходу Сонця ω_s : $a_2 = 0,409 + 0,5016 \cdot \sin(\omega_s - 60^\circ)$; $b_2 = 0,6609 + 0,4767 \cdot \sin(\omega_s - 60^\circ)$, а поточний годинний кут може бути визначений для кожного моменту часу T , год. : $\omega_1 = 15(12 - T)$.

Аналітичний запис (2.18) з урахуванням (2.15) і (2.17) набуває вигляду:

$$r_t = \frac{\pi}{24} \left(\frac{\cos \omega_1 - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \pi \frac{\omega_s}{180} \cos \omega_s} \right) \cdot (a_2 + b_2 \cdot \cos \omega_1) \quad (2.19)$$

Значення кута заходу Сонця ω_s знаходять із співвідношення, придатного для обчислення кутів для будь-якого моменту часу (години дня), де α_s – кут між напрямом на Сонце та горизонтом, або кут сходження Сонця [20], рис. 2.14:

$$\sin \alpha_s = \sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \omega_1 \quad (2.20)$$

При обчисленні кута заходу слід обумовити $\alpha_s = 0$ у (2.20) і знайти значення годинного кута $\omega_s = \omega_1|_{\alpha_s=0}$ для обраного місця розташування СФЕУ (широта ϕ , град.) і дня/місяця (δ , град. – кут схилення Сонця):

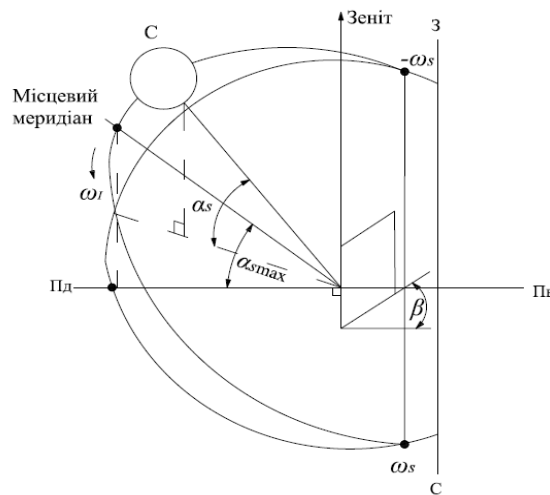


Рисунок 2.14 – Визначення кута заходу Сонця : $\omega_s = \omega_1|_{\alpha_s=0}$

$$\omega_s = \arccos \left(-\frac{\sin \delta \cdot \sin \phi}{\cos \delta \cdot \cos \phi} \right) = \arccos (-\operatorname{tg} \delta \cdot \operatorname{tg} \phi) \quad (2.21)$$

Криві залежностей коефіцієнта η від кута заходу Сонця для кожної години відхилення від сонячного полудня подані на рис. 2.15.

Для СФЕУ, сонячні батареї яких змонтовані без пристроїв слідкування за траєкторією Сонця, орієнтують строго на південь, а кут нахилу до горизонту β обирають оптимальним для даного місця розташування в залежності від широти місця φ :

$$\beta = \varphi - \delta ,$$

де δ – кут схилення Сонця. Беручи до уваги, що середнє значення кута схилення становить $\delta = 15^\circ$, для центральної частини України знаходимо оптимальне значення кута β :

$$\beta = \beta_{opt} = 45 - 15 = 30^\circ .$$

Зрозуміло, що період осереднення може бути обрано довільним чином, наприклад для холодної пори року $\beta = \beta_{opt} = 45 + 15 = 60^\circ$.

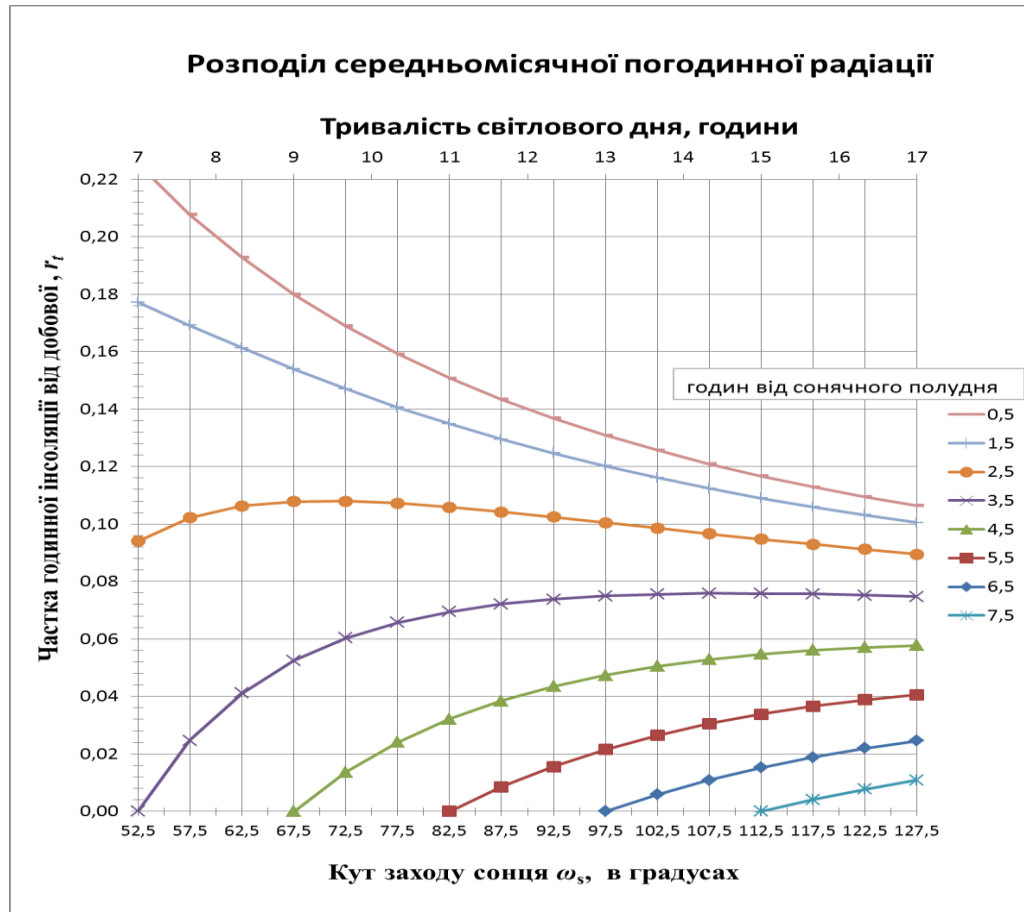


Рисунок 2.15 – Розподіл середньомісячної погодинної радіації

Рисунок 2.16 демонструє співвідношення між векторами прямої сонячної інсоляції B на горизонтальну плоску панель СФЕУ а) і B_β – на нахилену на $\beta = \beta_{opt} = 30^\circ$ до горизонту панель б). Це співвідношення легко визначити через кути рис. 2.13:

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z}, \quad (2.22)$$

де $\cos \theta$ та $\cos \theta_z$ визначаються за формулами:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \beta - \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \beta \cdot \cos \gamma + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega_l + \\ & + \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega_l + \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega_l, \end{aligned} \quad (2.23)$$

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega_l + \sin \phi \cdot \sin \delta.$$

Для СФЕУ, фотоелектричні панелі якої розташовані на похилих столах, жорстко фіксованих з орієнтацією нормалі на південь (кут $\gamma = 0$), матимемо:

$$R_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega_l + \sin(\phi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega_l + \sin \phi \cdot \sin \delta}. \quad (2.24)$$

Параметрична модель з відстеженням азимутального кута може бути представлена наступним чином. Співвідношення (2.22) та (2.24) легко пристосувати до розрахунків погодинної електрогенерації (ефективної потужності) СФЕУ, оснащеною автоматичною системою орієнтації фотоелектричних панелей (столів) СФЕУ на основі електромеханічних пристроїв, які забезпечують утримання максимального потоку прямої сонячної інсоляції – шляхом відстеження азимутального кута Сонця.

Для отримання виразів, за котрими обчислюють погодинний обсяг генерації СФЕУ з ідеальною слідкуючою системою достатньо значення коефіцієнта розраховувати на підставі числових значень із припущення, що азимутальний кут γ_s встановлюється слідкуючою системою з достатньою точністю в режимі реального часу таким, що його значення повторює значення азимутального сонячного кута Сонця γ : $\gamma_s = \gamma$. тобто значення функції кута γ_s , яке визначають за формулою:

$$\cos \gamma_s = \frac{\sin \alpha_s \sin \varphi - \sin \delta}{\cos \alpha_s \cos \varphi}, \quad (2.25)$$

підставляють у формулу, шляхом заміни $\cos \gamma = \cos \gamma_s$.

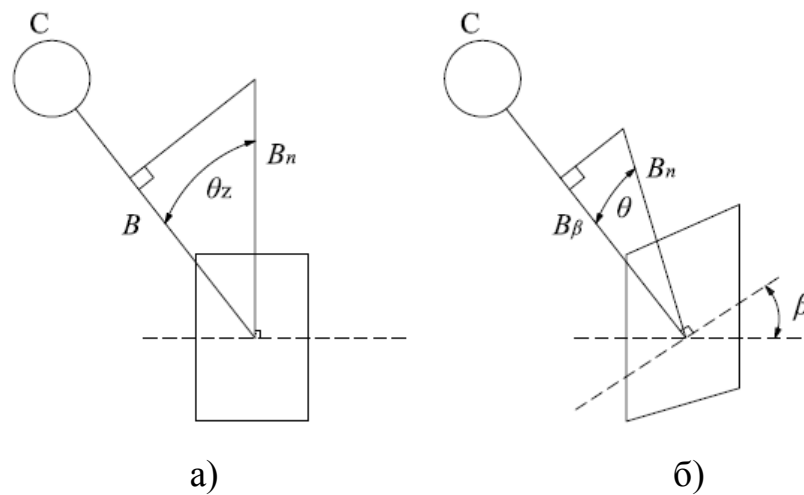


Рисунок 2.16 – Визначення співвідношення R_b для фотоелектричної панелі:

а) горизонтальної та б) – похилої

Співставні (теоретичні) криві погодинної інсоляції обсягу виробленої електроенергії у разі використання пристроїв стеження за азимутальним чи зенітним кутами для СФЕУ потужністю 1 МВт_{пік} наведено на рис. 2.17. Для числового моделювання кривих погодинного вироблення у випадку стеження за зенітним кутом використано характеристики промислових пристроїв типу DuraTrack[®] HZv3 компанії Array Technologies Inc. (США) з горизонтальною віссю обертання сонячних панелей [30].

Розрахунковий приклад, яким продемонстровано технологічні можливості повнішої утилізації й використання енергії сонячного випромінювання, опубліковано в роботах [31, 32]. Використання автоматичної системи орієнтації сонячних батарей СФЕУ на основі електромеханічних пристроїв, які

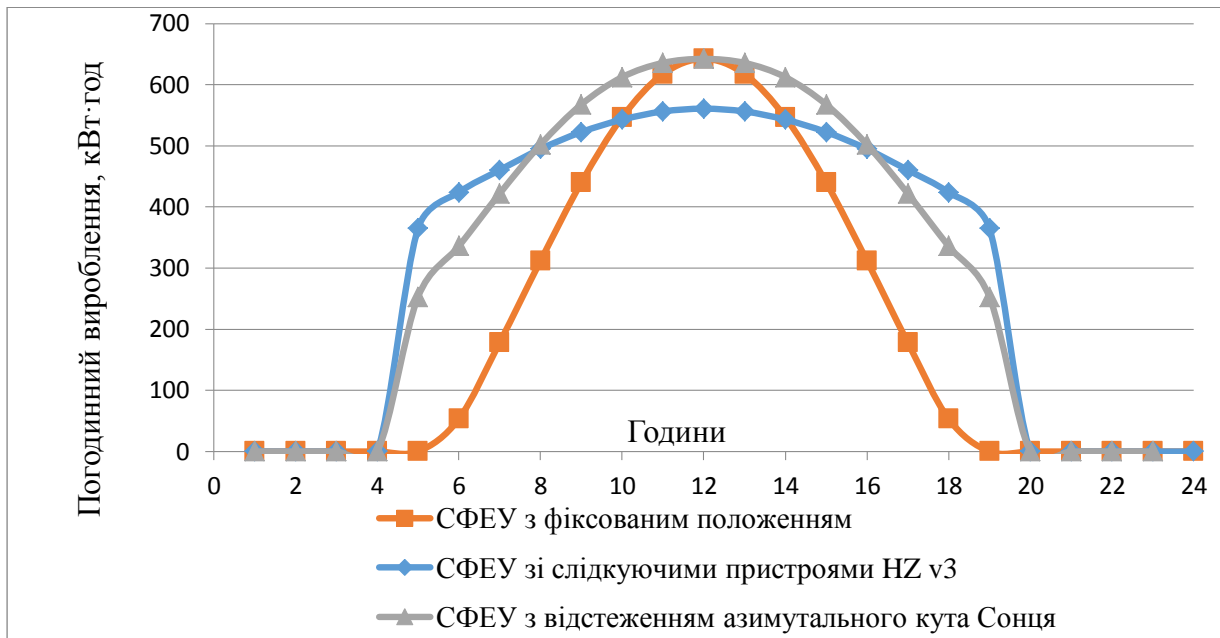


Рисунок 2.17 – Співставні криві погодинної для різних конфігурацій СФЕУ

забезпечують утримання максимального потоку прямої сонячної інсоляції в режимі реального часу шляхом відстеження азимутального кута Сонця, дозволяє підвищити ефективність використання сонячних фотоелектричних панелей та утилізувати додатково до 45% первинної енергії.

Крім того, розширення робочого часового інтервалу протягом світлої пори доби дає змогу у весняно-літній період року брати участь у покритті пікових навантажень графіка добового споживання у вузлі приєднання СФЕУ до розподільної мережі.

2.5 Геотермальна енергія

Більшість країн Європейського Союзу використовують енергію геотермальних вод як для виробництва електроенергії так і тепла. [33-37].

За прогнозами Національних планів дій з відновлюваної енергетики країн ЄС електричне застосування геотермальної енергії повинно майже подвоїти її виробництво у 2020 р., тобто близько 10,9 ТВт·год при 1613 МВт встановленої потужності. Для досягнення цієї мети не лише країни-виробники геотермальної енергії на виконання планових показників мають значно підвищити

потужності: наприклад, у Італії до 920 МВт, у Німеччині до 298 МВт, у Франції до 80 МВт, у Португалії до 75 МВт. Мають потенціал розвитку й інші ЄС країни повинні розвивати власні сектори, наприклад, Греція – 120 МВт, Угорщина – 57 МВт, Іспанія – 50 МВт та Словаччина (лише 4 МВт). Здебільшого такого розвитку можна буде досягти завдяки використанню установок з бінарним циклом.

У Німеччині функціонують чотири геотермальні когенераційні електростанції в Інсхаймі, Ландау, Брухсалі, та в Унтерхахінгу (Баварія). Виробництво геотермальної електроенергії в Німеччині зростає і у 2012 р. обсяг сягнув 25 ГВт·год. У процесі спорудження зараз знаходяться близько десяти проектів загальною потужністю більше 36 МВт, ще більше знаходяться у стадії розробки. За даними Європейської ради геотермальної енергетики на кінець 2015 р. електрична потужність геотермальних станцій Німеччини може зростає до 60-70 МВт_{ел.}

Обсяги виробництва тепла з використанням геотермальних вод ЄС мають значно зрости. Відповідно до опублікованих у 2011 р. Національних планів дій з відновлюваної енергетики очікуваний обсяг виробництва теплової енергії на геотермальних установках до 2020 р. становить 2631 тис. т.у.п., із досягненням проміжного показника 1348,1 тис. т.у.п. в 2015 р. Зазначається, що для виконання поставлених цілей необхідні значні інвестиції у виробництво та теплові мережі.

Україна має певний потенціал розвитку геотермальної енергетики (рис.2.18). Це обумовлено термогеологічними особливостями рельєфу та особливостями геотермальних ресурсів країни. Проте, на даний час наукові, геолого-розвідувальні та практичні роботи в Україні зосереджені тільки на геотермальних ресурсах, які представлені термальними водами. За різними оцінками, економічно-доцільний енергетичний ресурс термальних вод України становить до 8,4 млн т н.е./рік.

год/рік, Сумська – 6976 млн кВт год/рік, Закарпатська – 6919 млн кВт год/рік, Львівська – 6439 млн кВт год/рік, Рівненська – 6024 млн кВт год/рік [38].

Практичне освоєння термальних вод в Україні протягом останніх років інтенсивно провадилося на тимчасово окупованих територіях АР Крим, де було споруджено 11 геотермальних циркуляційних систем, які відповідають сучасним технологіям видобування геотермального тепла землі. Усі геотермальні установки працювали на дослідницько-промисловій стадії освоєння визначення технічного потенціалу [39].

Для розрахунків кількості можливих обсягів споживання низькотемпературних геотермальних ресурсів в геокліматичних умовах різних регіонів України необхідно врахувати, що інтенсивна їх експлуатація може призвести до зниження температури ґрунтового масиву та їх швидкому виснаженню. Необхідно підтримувати такий рівень використання геотермальної енергії, який дозволив би експлуатувати джерело енергетичних ресурсів без шкоди для навколишнього середовища. Для кожного регіону України існує певна максимальна інтенсивність видобування геотермальної енергії, яку можна підтримувати тривалий час.

2.6 Енергія довкілля

До природних енергетичних джерел довкілля належать тепло атмосферного повітря, води річок, морів, верхнього шару ґрунту та ґрунтові води.

Теплова енергія, що надійшла від Сонця, акумулюється в шарі ґрунту осадових та гірських порід на глибинах до ізотермічної (нейтральної) поверхні. Шар ґрунту між глибиною прогріву та ізотермічною поверхнею може розглядатися як природний сезонний акумулятор теплової енергії, причому, енергія, яка була використана в зимовий період, буде відновлюватись у теплий період року. Це стосується і ґрунтових вод, що містяться у вищевказаних шарах ґрунту та осадових порід.

Річний технічно-досяжний енергетичний потенціал енергії довкілля в Україні є еквівалентним 12,6 млн т н.е. (табл. 2.5), а його використання дозволяє заощадити біля 15,6 млрд м куб. природного газу.

Теплова енергія ґрунту та ґрунтових вод може використовуватися для обігріву та вентилявання приміщень. Відбір теплової енергії від ґрунту може здійснюватися за допомогою ґрунтових теплообмінників різних типів. Температура теплоносія у ґрунтовому теплообміннику становить від 3-5°C до 10-12°C і є придатною для застосування теплових насосів, які забезпечують підвищення температури теплоносія до 40-70°C. Досвід провідних країн свідчить, що енергію ґрунту найчастіше використовують у теплонасосних установках потужністю 10-20 кВт, які обслуговують окремі невеликі будинки. В умовах України це можуть бути садибні будинки міст та сіл.

Теплонасосна система теплохолодо- постачання, що працює з використанням теплоти ґрунту, є однією з найбільш енергетично ефективних технологій тепlopостачання. Переваги теплонасосних установок порівняно з традиційними системами пов'язані не тільки зі значними скороченнями витрат первинної енергії, але і з їх екологічною чистотою, а також з можливістю підвищення ступеня автономності систем життєзабезпечення будівель. При розрахунку кількості можливих об'ємів споживання низькотемпературних теплових ресурсів за кліматичних умов різних регіонів України необхідно враховувати, що інтенсивна експлуатація може призвести до зниження температури ґрунтового масиву та його промерзання. Необхідно підтримувати такий рівень використання енергії ґрунту, який дозволив би експлуатувати джерело енергетичних ресурсів без шкоди для навколишнього середовища. Для кожного регіону України існує деяка максимальна інтенсивність видобування геотермальної енергії, яку можна підтримувати тривалий час.

Для спорудження ґрунтових теплообмінників можуть використовуватись земельні ділянки, не зайняті дорогами та забудовою, як у межах садиб, так і на землях загального користування.

Для розрахунку прогнозних ресурсів низькопотенційної теплової енергії ґрунту та ґрунтових вод приймається, що ґрунтові теплообмінники закладаються в шарі ґрунту від глибини промерзання ґрунту (1,2 м) до глибини залягання

Таблиця 2.5 – Енергетичний потенціал верхнього шару ґрунту та повітря

	Області	Технічно досяжний тепловий потенціал ґрунту, тис. т н.е./рік	Технічно досяжний тепловий потенціал повітря, тис. т н.е./рік
1	2	3	4
1	Вінницька	84	70
2	Волинська	119	84
3	Дніпропетровська	735	840
4	Донецька	924	1029
5	Житомирська	119	84
6	Закарпатська	56	56
7	Запорізька	378	350
8	Івано-Франківська	119	84
9	Київська	700	861
10	Кіровоградська	189	140
11	Луганська	462	406
12	Львівська	189	175
13	Миколаївська	119	126
14	Одеська	231	231
15	Полтавська	231	210
16	Рівненська	63	56
17	Сумська	14	126
18	Тернопільська	63	42
19	Харківська	504	567
20	Херсонська	98	70
21	Хмельницька	119	84
22	Черкаська	168	112
23	Чернівецька	119	112
24	Чернігівська	119	112
25	АР Крим	371	280
Всього		6293	6307

нейтрального шару (18 м); в опалювальний період ґрунтовий теплообмінник буде охолоджувати ґрунт на глибині промерзання від 20°C до 0°C, а в літній період ґрунт прогрівається знову до 20°C. Зміна середньої температури ґрунту у ґрунтовому теплообміннику за опалювальний сезон становитиме 10°C. Заморожування ґрунту та ґрунтових вод при такому тепловому режимі не відбувається.

Глибина занурення систем видобування теплових ресурсів верхніх шарів ґрунту, тобто ґрунтових теплообмінників чи свердловин, як правило, повинна бути більшою від глибини кореневої системи рослин.

Теплофізичні властивості ґрунтів при розрахунках приймаються для окремих областей, виходячи з переважаючого типу ґрунтів та підстилаючих порід [40].

2.7 Прогнозні сценарії надходжень інвестиційного капіталу, спрямованого на розвиток ЕЕС

Через економічний спад останніх років динаміка розвитку ВДЕ в Україні суттєво відставала від цілей, що були затверджені у Національному плані дій з відновлюваної енергетики до 2020 року. Одним із головних факторів було обмежене або занадто дороге фінансування для проектів ВДЕ в Україні.

Фінансування більшості проектів відновлюваної енергетики в Україні здійснюється приватними компаніями за рахунок власного капіталу та позик від кредитних установ, до числа яких входять невелика кількість комерційних банків, МФО та донорів (рис. 2.18). Нижче наведено узагальнюючу інформацію про найбільш активних учасників, існуючі програми та умови фінансування.



Рисунок 2.18 – Програми для фінансування відновлюваної енергетики доступні в Україні

«Програма фінансування альтернативної енергетики в Україні» ЄБРР (USELF):

- позики приватним підприємствам від 1,5 млн євро;
- сфера дії – відновлювана енергетика при виробництві електроенергії.

Програма USELF є цільовою програмою фінансування та підтримки відновлюваної енергетики в Україні із бюджетом 140 млн євро. Бюджет складається 100 млн євро коштів ЄБРР (розпорядник коштів програми) та 40 млн євро Фонду Чистих Технологій.

Для участі у програмі підприємства повинні мати документально підтверджену фінансову та кредитну історію, що включає фінансову звітність у відповідності зі стандартами звітності, а після підписання угоди повинні запровадити Міжнародні стандарти фінансової звітності впродовж двох років.

Для полегшення та прискорення інвестицій у проекти відновлюваної енергетики, в рамках проекту USELF надається безкоштовна технічна підтримка та консультації підприємствам-позичальникам. Фінансування такої підтримки здійснюється за рахунок гранту Глобального Екологічного Фонду (GEF). Технічна підтримка впровадження проекту передбачає допомогу в отриманні дозволів та ліцензій для реалізацій проекту, ліцензування проекту, консультації щодо підготовки техніко-економічного обґрунтування (у разі потреби), консультації

щодо підготовки до комерційних переговорів та рекомендації щодо менеджменту проектів.

Кредитування від ЄБРР:

- позики від 5 до 250 млн євро;
- період кредитування до 15 років;
- відсоткова ставка – LIBOR + спред (~7-10%).

Залучити позику від ЄБРР мають можливість приватні або муніципальні підприємства. Окрім необхідних документів для реалізації проекту позичальник має надати гарантії для кредитора у вигляді застав активів, акцій компанії та інше (за домовленістю). Зазвичай середній розмір кредитів ЄБРР становить ~25 млн євро, але останнім часом почали активніше розглядатись і проекти розміром 5-10 млн євро.

Програми фінансування НЕФКО

Залучити позику в рамках програми «Чисте виробництво» можуть комунальні або приватні підприємства. Власник проекту повинен мати економічний ефект – рентабельність ~25%. Також, власник проекту повинен надати забезпечення до 125% позики.

Інвестиційний фонд НЕФКО може надавати позики або брати участь в капіталі підприємств, тож відповідно Фонд може виступати в якості партнера, кредитора або гаранта. У низці випадків, для фінансування проектів використовуються субординовані кредити або схеми кредитування із дольовою участю.

Пріоритет для надання фінансування віддається малим та середнім інвестиційним проектам, що сприяють поліпшенню стану навколишнього середовища. Тож при оцінці проекту, окрім економічної доцільності та прийнятності, приділяється увага екологічному ефекту, який має бути вимірюваним.

Фінансування від датського інвестиційного фонду:

- фінансування приватних підприємств до 200 тис. євро;
- фінансування до 50% вартості проекту та до 25% залучених інвестицій.

Україна є досить привабливим ринком для датських інвесторів, у тому числі й галузь відновлюваної енергетики. Українські приватні підприємства та органи влади можуть співпрацювати із датськими підприємствами, які, в свою чергу, можуть скористуватися фінансовою підтримкою інвестиційного Фонду.

Датський інвестиційний фонд надає пряме довгострокове фінансування комерційних проектів малих та середніх підприємств у вигляді капіталу, позик (у тому числі позик у вигляді капіталу) та гарантій. Умовами отримання фінансування є участь датських підприємств, використання датських технологій та обладнання, участь Данії в управлінні компанією тощо.

Програма фінансування від ЄІБ «Розвиток муніципальної інфраструктури»:

- позики муніципалітетам та приватним підприємствам від 10 млн євро;
- період кредитування до 22 років (ут.ч. пільговий період 5 років);
- відсоткова ставка 2,4 – 4% річних;
- разова комісія 50 тис. євро.

Європейський інвестиційний банк активно фінансує енергетичні проекти в Україні через наявну кредитну лінію з Урядом України. Завдяки фінансовим ресурсам ЄІБ існує можливість залучити позики для реалізації великих енергетичних проектів, але механізм залучення фінансування є досить важким, зарегульованим та потребує безпосередньої участі Уряду України (детальніше див. звіт «Механізми фінансування заходів енергоефективності в Україні»).

Діючою програмою в Україні є проект «Розвиток муніципальної інфраструктури» загальний бюджет якого складає 400 млн євро, з яких 140 млн євро передбачено на проекти у галузі енергетики.

Спільна програма Укрексімбанку з ЄІБ та Світовим банком

Укрексімбанк може надавати позики приватним підприємствам на реалізацію проектів у відновлюваній енергетиці в рамках кредитної лінії з ЄІБ, що складає 100 млн євро. Малі та середні підприємства і установи із середньою капіталізацією мають можливість залучити фінансування через субкредитну угоду із Укрексімбанком.

Укрексімбанк надає позики приватним підприємствам в рамках проекту зі Світовим банком, що діє з травня 2011 року до квітня 2017 та передбачає кредитну лінію у 200 млн дол. Основною вимогою до фінансування проектів, коштами МБРР, вони повинні мати реальну внутрішню ставку доходності не менше 10% (оцінка здійснюється виключно з урахуванням скорочення споживання енергоресурсів). Також, для підписання угоди кінцеві позичальники коштів повинні мати коефіцієнт обслуговування боргу не менше 1,3.

Кредитування від Укргазбанку

Одним з українських банків, що спеціалізується на фінансуванні проектів з відновлюваної енергетики, є Укргазбанк. Укргазбанк обрав стратегію розвитку «Еко-кредитування» та пропонує підприємствам пільгові відсоткові ставки за кредитами, та підвищені ставки при розміщенні депозитів. Програми Укргазбанку з фінансування відновлюваної енергетики впроваджуються за підтримки проекту IFC, що була започаткована у травні 2016 року.

В рамках співпраці з Німецько-Українським фондом Укргазбанк пропонує кредитування малого та середнього бізнесу і сільськогосподарських підприємств. Цілями кредитування можуть стати поповнення обігових коштів, або реалізація інвестиційних проектів (у т.ч. з відновлюваної енергетики).

Непряма фінансова підтримка від МФО

Одними із міжнародних організацій, що мають суттєвий вплив на фінансову підтримку проектів відновлюваної енергетики на світовому ринку є Фонд чистих технологій (CIF) та Всесвітній екологічний фонд (GEF). Дані організації не надають прямі позики для реалізації проектів. Фінансова та технічна підтримка CIF та GEF переважно надається в рамках програм інших МФО (ЄБРР, ЄІБ, МБРР, ІФС тощо), державним агентствам та Урядам.

В Україні GEF реалізує 50 проектів (у т.ч. й з відновлюваної енергетики) із загальним бюджетом у 1 млрд дол (внески GEF складають ~30%). За інвестиційним планом СТФ в Україні очікується залучити близько 2 млрд дол у якості додаткового фінансування проектів із зниження CO₂, відновлюваної енергетики та інших.

Сценарії надходження інвестицій

Очікувані обсяги інвестицій за портфелем інвестиційних проектів спорудження нових об'єктів генерування, що потребують фінансування, із зазначенням щорічних надходжень наростаючим підсумком зазначені на рис. 2.19. Базовий сценарій розвитку означено із врахуванням реально досягнутого темпу інвестування в нові об'єкти виробництва теплової енергії та генерування електричної (Е-ВДЕ). Орієнтовна вартість споруджених об'єктів на основі ВДЕ протягом 2017 року оцінена в розмірі від 300 до 500 млн дол. США [41]. Згідно цього, за базовим сценарієм в межах горизонту до 2022 календарного року передбачається надходження коштів в розмірі річних траншів, кожен на загальну суму 300 млн дол. США за базовим сценарієм, 500 млн дол. США за оптимістичним.

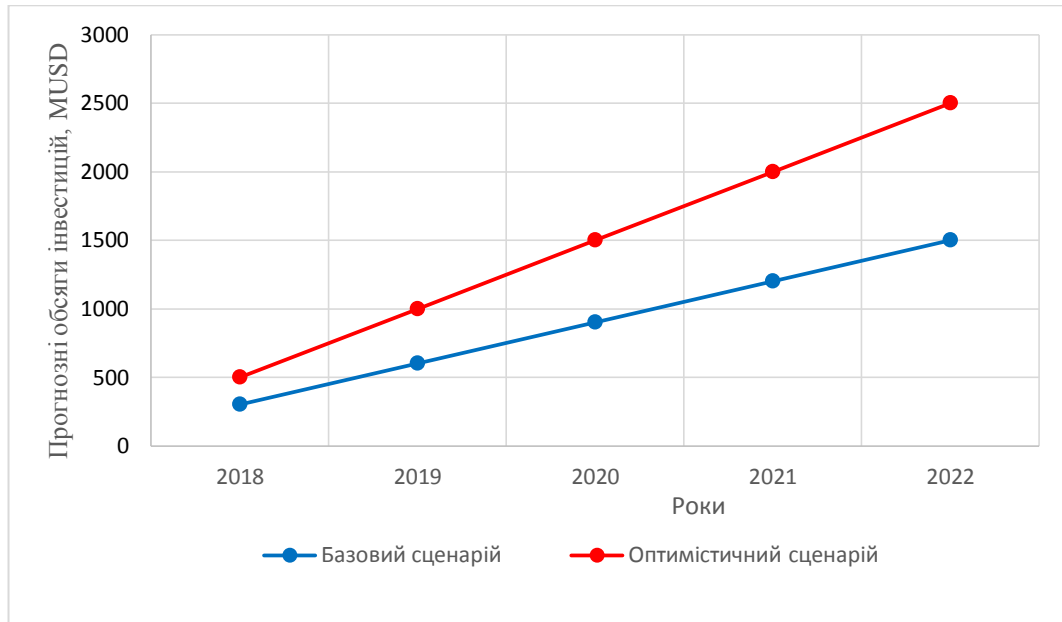


Рисунок 2.19 – Прогнозні сценарії щорічних надходжень інвестиційного капіталу, що спрямовується на розвиток сектора генерування на основі ТВЕ

Висновки

1. Розвиток ВДЕ в нашій державі перебуває на початковому етапі, не зважаючи на те, що Україна має найбільший технічно-досяжний потенціал вироблення енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива, серед країн Південно-Східної Європи. Подальший розвиток ВДЕ потребує значних інвестицій для нарощування їх частки в енергетичному балансі, що призводить до додаткового цінового навантаження на споживачів. Для подальших розрахунків було прийнято два сценарії надходження інвестицій на розвиток сектора генерування на основі ТВЕ.

2. Важливими факторами, якими будуть сприяти розвитку ВДЕ у всьому світі та, зокрема, в Україні є подальше здешевлення технологій та вартості електростанцій на ВДЕ. Суттєве здешевлення вартості встановлення електростанцій: витрати на встановлення СЕС промислового масштабу

знижаться за 10 років на 57%, а витрати на встановлення ВЕС – на 13%, що зробить ці технології ще більш привабливими.

Слід зауважити, що на теперішній час обладнання для технологій вітрогенерації, фотоелектрики - й досі виробляються не в Україні, а значить дорогі; плата за їх прискорене впровадження є неймовірно високою для держави оскільки система підтримки через механізм "зелених тарифів" має економічні наслідки для українського суспільства. Також ці технології потребують введення нових потужностей швидкодіючого мобільного резерву (газопоршневі станції, ГАЕС).

3. У таблиці 2.6 відображено числові значення обмежень на використання палив та енергетичних ресурсів в т.н.е на період прогнозування до 2022р, прийнятих для подальшого розрахунку.

Таблиця 2.6 – Обмеження щодо використовуваних ресурсів у моделі на період прогнозування до 2022р.

Вид ресурсу	Обмеження, т н.е.
Дрова, сухий стан	30000
Тріска деревна, насипом, вологість 20%	38000
Тріска деревна, насипом, вологість 40%	5000
Тріска деревна, насипом, вологість 50%	3750
Тріска деревна, утрамбована, вологість 40%	5000
Стружка деревна, утрамбована, вологість 7-15%	6000
Тирса деревна, вологість 33-38% (насип)	6000
Пелети (брикети) з дерева	50000
Пелети (брикети) з соломи	40000
Пелети (брикети) з лушпиння соняшника	7750

Енергетична деревина, сухий стан	5500
Солома зернових, вологість 15%, малі тюки	30000
Солома зернових, вологість 15 %, великі тюки	5000
Солома ріпаку	5000
Біогаз із відходів тваринництва, 55% метану	23000
Біогаз із ТБО сміттєзвалищ, 50% метану	23000
Скидне потоки (низькопотенціальна теплота)	2300
Енергія геотермальних вод	7500
Гідроенергетичні ресурси	10000
Енергія сонця	400000
Енергія вітру	400000

3 МЕТОДОЛОГІЯ РОЗРАХУНКІВ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

3.1 Методи економіко-математичного моделювання оцінювання економічної привабливості технологій енергопостачання

Особливості побудови комплексної системи енергопостачання слід визначити у процесі її проектування на основі ретельного аналізу технічних та економічних показників. Так до технічних показників відносять:

- надійність, зручність експлуатації;
- обсяг поточних і капітальних ремонтів;
- ступінь автоматизації та інше.

Основними економічними показниками є:

- капітальні вкладення, з урахуванням періодичності заміни силових компонентів протягом розрахункового терміну експлуатації (життєвого циклу КСЕ);
- щорічні експлуатаційні витрати на підтримання належного функціонування КСЕ з урахуванням фактору цінової ескалації (щорічної інфляції).

За традиційною практикою вибір найкращого рішення довгострокового проекту об'єкта в енергетичній галузі здійснюють шляхом співставлення розрахункових показників, отриманих в результаті варіантних і розрахунків за моделю життєвого циклу. Документ, в якому узагальнено і методично оформлено керівні вказівки з економічних розрахунків в енергетичній галузі, є «Методика техніко-економічних розрахунків в енергетиці» [42].

Відповідно до цієї методики, в якості основного методу оцінки економічності рекомендується метод терміну окупності. Цей метод – один із досить простих та доступних в користуванні, широко розповсюджений в

практиці аналізу ефективності інвестицій. Він дає можливість отримати додаткову інформацію про проект та визначити той термін, за який кумулятивна сума грошових чистих надходжень дорівнюватиме сумі інвестицій. Економічні (вартісні) показники в більшості випадків є вирішальними при техніко-економічних розрахунках. Однак, за умови рівноцінних вартісних показників, перевагу віддають варіанту з кращими технічними показниками, беручи до уваги специфічні додаткові фактори, важливі для оцінки ризику потенційного інвестора (або фактичного замовника) : суму початкових інвестицій, складність та технологічність виконання сервісних робіт з урахуванням логістичних обмежень тощо. Також, слід зауважити, що висновки на основі зіставлень економічних порівнянь необхідно виконувати з урахуванням можливої похибки результатів розрахунків, що зумовлена неточністю вихідних даних, використанням укрупнених показників (осереднення, апроксимації, лінеаризації) тощо.

Важлива перевага методу окупності полягає в тому, що він є приблизною мірою ризику, коли невизначеною може бути лише тривалість життєвого циклу. Інвестиції дають прибуток тим швидше, чим коротший період окупності. Тому керівники підприємств, приймаючи рішення щодо реалізації інвестиційних проектів, мають враховувати як економічно виправданий термін окупності інвестицій, так і прогнозу тривалість корисного використання інвестиційного проекту. Урахування цього чинника дає змогу підвищити привабливість інвестицій. Отже, керівництво підприємства прагне отримати вичерпну інформацію про загальну тривалість функціонування аналогічних інвестиційних проектів або інформацію про терміни корисного використання замінюваної техніки чи технології на етапі ескізного проекту та його техніко-економічного обґрунтування.

Таким чином, недоліки методу окупності є такими:

- не враховуються доходи (надходження), які отримає підприємство після завершення економічно виправданого (прогнозного) терміну окупності;

- при використанні методу окупності не враховується чинник часу, тобто часовий аспект вартості грошей, при якому доходи і витрати, пов'язані з використанням інвестиційного проекту, приводяться до порівнянного виду за допомогою дисконтування.
- головний недолік методу оцінювання ефективності інвестиційних проектів, відповідно до терміну їх окупності, полягає в суб'єктивності підходу керівників підприємств або інвесторів до визначення економічно виправданого періоду окупності інвестиційного проекту. Один з інвесторів може зажадати встановлення економічно виправданого терміну окупності інвестиційного проекту, що не перевищує п'яти років. При цьому інший інвестор вважатиме за доцільне скерувати фінансові ресурси на реалізацію інвестиційного проекту лише у випадку, якщо термін окупності не перевищить трьох років.

Для економічних розрахунків у разі порівняння двох варіантів використовують метод терміну окупності $T_{ок}$, років:

$$T_{ок} = \frac{K_2 - K_1}{C_{E1} - C_{E2}},$$

де K_1, K_2 – капітальні вкладення у першому та другому варіанті;

C_{E1}, C_{E2} – щорічні експлуатаційні витрати.

Зазначена методика дає відповідь на питання про вигоди інвестора в даних конкретних умовах: варіант 1 з великими капіталовкладеннями, але меншими щорічними експлуатаційними витратами або варіант 2 з меншими капіталовкладеннями, але з великими щорічними експлуатаційними витратами. Значення $T_{ок}$ визначає період, протягом якого відшкодовуються додаткові капіталовкладення за більш капіталомісткого варіанту за рахунок економії, яку можна отримати на щорічних експлуатаційних витратах.

Для техніко-економічних розрахунків враховують всі складові витрат, що стосується капітальних вкладень: витрати на будівництво нових об'єктів, розширення і реконструкцію вже діючих, придбання обладнання, передачу частини обладнання на інший об'єкт і т. д. Щорічні експлуатаційні витрати в системах електропостачання визначаються витратами на втрати електроенергії, утримання обслуговуючого персоналу та поточний ремонт, амортизацію, паливо, матеріали, сировину та допоміжні витрати.

В роботі [43] здійснено оцінювання ефективності енергетичних технологій (установок) за значеннями абсолютної енергетичної віддачі, як різниці між наявним потенціалом та затратами енергії, які визначаються сумою витрат енергії на створення, експлуатацію та утилізацію енергоустановки. Наведено методики оцінки ефективності технологій за показниками повних енергетичних витрат та методик визначення енергетичних витрат за статтями, які не визначаються існуючими стандартами. Ця методика усуває низку недоліків, що притаманні існуючим методикам, а також, об'єднує методики визначення ККД енергоустановок та методики техніко-економічних оцінок.

В роботі [1] показано можливості застосування моделей виробничого типу на основі модифікованих моделей Леонтьєва для ряду задач розрахунку обсягів і цін на виробництво електроенергії діючими і новими (що проектується) об'єктами «традиційної» електрогенерації – теплоелектростанціями (ТЕС) і атомними електростанціями (АЕС), у єдиному енергетичному комплексі України. Балансові моделі виробничого типу є багато продуктовими за своєю суттю і дозволяють отримати повну множину розрахункових значень обсягів і цін на всі внутрішні продукти і субпродукти одночасно, з урахуванням прийнятих апріорних цін на екзогенні (зовнішні) ресурси, споживані системою.

У монографії [1] наведено розрахункові приклади, які за умови використання поняття «технологічний спосіб» за Л. Канторовичем, дозволяють прослідкувати поведінку складної системи взаємопов'язаних виробництв, якою

є сучасний ядерно-енергетичний комплекс зокрема. Таким чином, ціну виробництва електроенергії в атомній енергетиці визначають не обмежуючись розглядом функціонуванням лише ядерних реакторів однієї станції. Відзначається, що постановка й розв'язання подібних задач нашоюхується на труднощі розроблення інформаційного забезпечення.

3.2 Метод визначення ціни виробництва за схемою нормованої вартості електроенергії на основі моделі життєвого циклу енергоустановки

Нормована вартість енергії, або розрахункова середньозважена ціна на енергію, яку виробник передає до електромережі (ЕМ) у вузлі приєднання до енергосистеми, часто використовується в якості зручного зведеного показника загальної конкурентоспроможності різних генеруючих технологій. Це поняття традиційно використовується у практиці техніко-економічних досліджень енергетичних систем протягом останніх десятиліть.

Методологія визначення нормованої, або розрахункової середньозваженої ціни виробництва енергетичних продуктів (з англійської *Levelized Energy Cost (LEC)*, також *Levelised Cost of Energy (LCOE)*) – розвинута у багатьох дослідженнях відомих зарубіжних наукових центрів та провідних енергетичних компаній у процесі поступального розвитку технологій виробництва теплової та електричної енергії як ефективний інструмент порівняння технічних і економічних показників у їх сукупності.

Основні показники, які необхідні для розрахунку нормованої вартості енергії це: капітальні витрати на будівництво/монтаж об'єкта, витрати на сплату відсотків за користування банківськими позиками, експлуатаційні витрати (умовно постійні і змінні витрати на поточне обслуговування й паливо), також необхідний коефіцієнт використання для кожного типу установки та значення виробленої енергії.

Метою порівняння – є аналіз багатоваріантних стратегій розвитку енергетичних систем в умовах економічно розвинутих країн, та країн, що

розвиваються, зокрема країн Європейської співдружності ЄС та країн-членів ОЕСР [44]. Подібні аналітичні дослідження й експертні висновки, у супроводі із зручним розрахунковим інструментарієм (комп'ютерними моделями) користуються попитом у широкому колі зацікавлених суб'єктів – представників операторів ринку, компетентних державних виконавчих структур, компаній-виробників, постачальників і потенційних інвесторів.

Особливо стрімкого розвитку методологія моделювання на основі концепту *LCOE* зазнала протягом останніх 2-3 років – в умовах трансформації ринкових відносин, поширення принципів дерегуляції економічних стосунків у сфері енергетики, пов'язаних з високими темпами впровадження НВДЕ провідними країнами світу відповідно до гармонізованих планів національного розвитку та прогресивними зрушеннями щодо енергозабезпечення густонаселених країн Південно-Східної Азії та Океанії.

Основним висновком щодо сучасного наукового рівня досліджень модифікованих записів моделей, що ґрунтуються на використанні концепту *LCOE* є те, що існує безліч шляхів побудови модельних конструкцій для розрахунку *LCOE*, оскільки конкретний запис моделі залежить від ступеню деталізації наявних даних. Особливо важливим чинником, який впливає на достовірність отриманих техніко-економічних оцінок є коректність припущень щодо поведінки фінансово-економічної системи (державної, світової), оскільки нормована вартість енергії *LEC* і електроенергії *LCOE* розраховують всі передбачені розробником господарські операції і грошові потоки протягом життєвого циклу енергетичного об'єкта.

Більшість якісних досліджень, опублікованих протягом 2010-2013р. містять вступний розділ, де ретельно зазначено правила й економічні умови, за яких виконані порівняльні техніко-економічні розрахунки [45]. Насамперед, оскільки мова йде про визначення вартості у грошових одиницях, то потрібно визначити номінальну грошову одиницю (валюти), вартість якої фіксується станом на рік дослідження, або певну прийнятну опорну дату (наприклад,

долари США 2018 р. – USD₂₀₁₈). Також зазначається перелік джерел використаної статистичної інформації економічного змісту. Зазвичай дослідники наголошують на обов'язковості застосування ринкових процедур щодо визначення усіх компонентів вартості виконуваних робіт на всіх стадіях проекту, починаючи з особливостей вибору земельної ділянки (з урахуванням необхідності її підготовки, утилізації залишків існуючих конструкцій у разі потреби), умов землекористування тощо; проектування, постачання обладнання, формування затрат на монтаж і супровід будівельних робіт та умов роботи персоналу компанії-забудовника (генерального виконавця/підрядника), на експлуатаційний супровід протягом гарантійного терміну; умов пост-гарантійного обслуговування, рівня і порядку рівня оплати праці – закінчуючи умовами страхування різноманітних ризиків тощо. Повний перелік таких припущень є унікальним для кожного дослідження; в даній праці аналіз повноти таких умов не розглядаються. Втім, з огляду на особливості економічної моделі України, період переходу якої на суто ринкові економічні механізми виявився затяжним, формулювання системи таких припущень є запорукою отримання вірогідних результатів.

Зокрема, важливим є домовитися про користування такими одиницями й позначеннями:

- макроекономічними показниками за всіма компонентами (населення, потужності, обсяги виробництва, ціни тощо) – станом на базовий рік (наприклад, 2018); при цьому оновлені дані на наступні роки можуть бути використані, наприклад щодо енергоспоживання;
- одиниць виміру Міжнародної Системи (SI);
- коефіцієнтами перерахунку між фізичними і енергетичними величинами, визначеними МЕА;
- потужності: GW_t – теплової, GWe – електричної;
- коефіцієнта використання встановленої потужності (КВВП) – C_f ;

- обсягів інвестицій – в USD/кВт для максимальної встановленої потужності (припускається позначення \$ для валюти «долари США»);
- вартості енергії: USD2018/кВт·год або USD2018/ПДж;
- відсоткова дохідність банківського капіталу: 3, 5, 7 і 10%;
- вартості на паливно-енергетичні ресурси (ПЕР) – відповідно до індикативних (розрахункових) цін в Україні;
- грошового потоку CF і кумулятивного дисконтованого грошового потоку (Cumulated Discounted Cash Flow) – $CDCF$;
- цільових (кінцевих) років розрахункових періодів: 2020, 2030, 2050.

Визначені правила користування одиницями і позначеннями дають базисну основу, спираючись на яку можна здійснювати порівняння одного нового чи відновлюваного джерела (технології, проекту) із іншими. Відповідно, щоб забезпечити можливість порівняльного аналізу (з метою обрання придатної технології і доцільних обсягів/потужності виробництва), витрати, які будуть понесені у різні моменти часу (віднесені до різних років функціонування) мають бути приведені до обраної опорної дати (2018 рік, наприклад).

Набули вжитку певні терміни для позначення вартості грошей і, відповідно цін: дійсні і номінальні. «Дійсні» відображають реальну поточну спроможність (силу) грошових потоків у незмінній (фіксованій) валюті. «Номінальні» – враховують чинник інфляції. У разі, якщо розрахунки здійснюються у грошових одиницях валюти, яка має дійсну вартість, на відміну від номінальної, значення відсоткової дохідності капіталу так само мають бути дійсними (очищеними від інфляційних компонентів). Цим фактором часто нехтують, і застосовують процентні ставки за даними спостережень динаміки фінансових ринків, огляду «банківських ринкових ставок» чи «ринкових дисконтів». Дійсні відсоткові ставки ніколи «не спостерігаються» – вони визначаються на підставі співвідношень:

$$(1 + R) = (1 + r) \times (1 + i), \quad (3.1)$$

де застосовані позначення: R – номінальна ставка, %; r – дійсна чи фіксована ставка, %; i – темп інфляції, %.

У практиці розрахунків інвестиційних проектів за моделями *LCOE* користуються методами фінансових обчислень чистої приведеної вартості (Net Present Value, *NPV*). Показник уявляє собою різницю між всіма грошовими притоками і відтоками, приведеними до поточного моменту часу (до дати оцінювання інвестиційного проекту):

$$NPV = \sum_j^n \frac{NetCF(j)}{(1 + R)^j}, \quad (3.2)$$

де $NetCF(j)$ – сума всіх грошових потоків у році j , n – тривалість життєвого циклу проекту (термін служби установки) в роках, R – бажана дохідність проекту, внутрішній дисконт на рівні *IRR*.

NPV показує величину коштів, яку інвестор очікує отримати від проекту після досягнення рівня беззбитковості – коли грошові потоки надходжень зможуть покрити його первісні інвестиційні витрати і скомпенсують періодичні грошові відтоки (витрати, зумовлені імплементацією проекту чи в процесі функціонування об'єкта).

Для знаходження рівноважної ціни на енергетичні продукти, які виробляються установками, що їх передбачається збудувати за інвестиційним проектом нового енергетичного об'єкта, вираз для визначення чистої приведеної вартості записують у формі балансу

$$PV_{revenue} = PV_{cost}, t = \overline{1, n}, \quad (3.3)$$

причому $PV_{revenue}$ – приведена вартість грошових потоків-надходжень; PV_{cost} – приведена вартість грошових потоків-витрат; t – позначення поточного часового періоду роботи установок/об'єкта (зазвичай – календарний рік), n –

розрахунковий термін експлуатації об'єкта у періодах (життєвий цикл у календарних роках). З урахуванням (3.2) для будь-якої енергетичної установки ліву і праву частину рівняння (3.3) визначають наступним чином:

$$PV_{cost} = C^{cap} + \sum_t^n C_t^{O\&M} / (1+r)^t, \quad (3.4)$$

$$PV_{revenue} = \sum_t^n Q_t \cdot L_t = 8760 \cdot \sum_t^n \frac{GW_t \cdot C_{ft}}{(1+r)^t} \cdot L_t. \quad (3.5)$$

Записані співвідношення містять позначення (індекс t є маркером належності до t -того періоду експлуатації): C^{cap} – загальна сума капітальних витрат на будівництво/монтаж об'єкта, включно сплата відсотків за користування банківськими позиками (визначається в залежності від фінансового плану будівництва); $C_t^{O\&M}$ – загальна сума експлуатаційних витрат (умовно постійних і змінних витрат на поточне обслуговування й паливо); r – дійсна ставка дисконтування, дисконт у %; Q – вироблена енергія (теплова чи електрична); L – невідома середня (нормована) ціна виробленого енергопродукту у поточному періоді/році; GW – потужність установки, іноді приймають рівною номінальному значенню $GW_{ном}$ (може бути постійною, якщо нехтують деградацією – зниженням показників продуктивності, ККД тощо; відповідно, запис дещо спрощується); C_{ft} – КВВП у поточному експлуатаційному періоді/році.

У разі відсутності точних даних про податкові ставки, надбавки до тарифу чи пільги, у прогнозних розрахунках на тривалий перспективний період зазвичай обмежуються калькуляцією приведенного значення грошових потоків-надходжень до «сплати податків та страхових виплат»:

$$PV_{revenue} = PV_{revenue}^{EBIT}.$$

Найбільші труднощі розроблення моделей за схемою *LCOE* полягають у визначенні і якомога повному врахуванні складових поточних витрат, що продемонстровано діаграмою на рисунку 3.1.

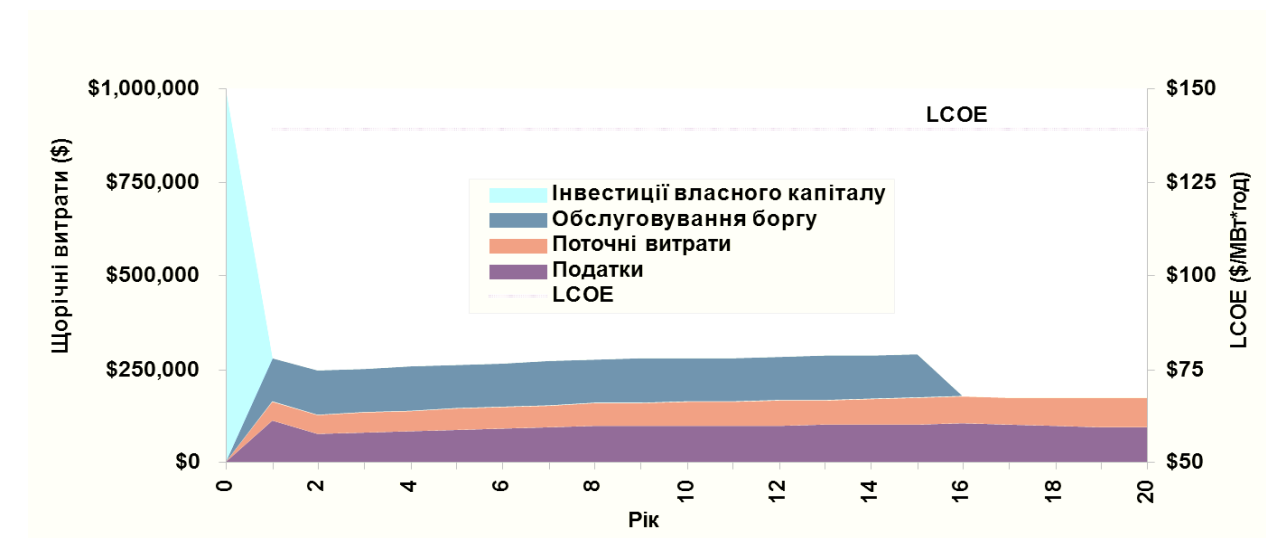


Рисунок 3.1 – Можлива динаміка приведених грошових витрат протягом терміну експлуатації.

У таблиці 3.1-3.2 наведено еквівалентні розрахункові значення нормованих цін та операційних витрат на обслуговування.

Таблиця 3.1 – Еквівалентні розрахункові значення нормованих цін *LCOE* для технологій застосованих у моделі., kUSD/т.н.е.

Опалювальні котли на соломі/стеблах та солом'яних пелетах	0,08
Котли та ТЕЦ на деревині, деревних пелетах та біомасі	0,11
ТНУ вода/вода та вода/повітря (теплonasосні системи, од. потужність 1-5 МВт_ел)	0,15
Автономні інтегровані колекторні установки з накопичувачем тепла (ІКУНТ)	0,4
Біогазова установка, теплова енергія	0,4
ГеоТЕС - електроенергія (бінарна установка)	0,5368

Малі ГЕС, < 10 МВт	0,0723
ВЕС	0,3967
СФЕС	0,7001
Біогазова установка, ел/енергія	0,14

Таблиця 3.2 – Еквівалентні розрахункові значення операційних витрат на обслуговування, витрат на оплату праці та інших витрат для технологій застосованих у моделі., kUSD/т.н.е.

Опалювальні котли на соломі/стеблах та солом'яних пелетах	0,02
Котли та ТЕЦ на деревині, деревних пелетах та біомасі	0,04
ТНУ вода/вода та вода/повітря (теплонасосні системи, од. потужність 1-5 МВт _{ел})	0,012
Автономні інтегровані колекторні установки з накопичувачем тепла (ІКУНт)	0,05
Біогазова установка, теплова енергія	0,023
ГеоТЕС - електроенергія (бінарна установка)	0,056
Малі ГЕС, < 10 МВт	0,0828
ВЕС	0,0758
СФЕС	0,1249
Біогазова установка, ел/енергія	0,0245

3.3 Методи розрахунку нормованої ціни виробництва енергопродуктів та показники визначення капітальних витрат

3.3.1 Вживані записи нормованої ціни виробництва енергопродуктів

Центральна постановка задачі з розроблення розрахункової моделі *LCOE* придатної для вичерпного аналізу прогнозних техніко-економічних показників енергетичного об'єкта полягає у визначенні значення кумулятивного доходу

(шляхом знаходження нормованої ціни L) за дотримання певних значень показників дохідності IRR – внутрішнього коефіцієнту дохідності відповідно до запису співвідношення (3.1). В контексті інвестиційних задач показник IRR також іменують ставкою дохідності на дисконтований грошовий потік [46].

Повнота запису моделі залежить від необхідності відображення у розрахунку податкових пільг та амортизаційних відрахувань.

Відокремлюють три базові визначення нормованої ціни за схемою L_{COE} , які найбільш узагальнені для застосування в задачах економіко-математичного моделювання, це:

1) Номіальна нормована ціна – для випадків, де не враховують показник інфляції, $i=0$. Вираз для визначення нормованої ціни з врахуванням (3.5) записують у вигляді:

$$L_{COE} = PV_{cost} / 8760 \cdot GW \cdot \sum_t^n \frac{C_{ft}}{(1+r)^t} \quad (3.6)$$

Користуючись виразом (3.6) L_{COE} визначають в термінах дійсної (поточної) вартості грошей для сталого (номіального) значення потужності протягом терміну експлуатації.

2) Дійсна нормована ціна при не нульовій інфляції $i \neq 0$, визначається з урахуванням інфляції у межах 1-3% для кожного періоду протягом терміну експлуатації:

$$L_t = L_{COE} \cdot (1+i)^t,$$

Після чого (3.6) з урахуванням (3.1) та для випадку врахування деградації продуктивності установки (ефективну потужність диференційовано по рокам) нормована вартість становить:

$$L_{COE} = PV_{cost} / 8760 \cdot \sum_t^n \frac{GW_t \cdot C_{ft}}{(1+r)^t}, \quad (3.7)$$

де ставка дисконтування грошових потоків витрат є номінальною.

3) Дійсна нормована ціна – для розрахунку якої витрати на обслуговування і паливо $C_t^{O\&M}$ у (3.4) враховують з показником річної інфляції $i \neq 0$ (1-3%) в термінах номінальної вартості грошей:

$$PV_{cost} = C^{cap} + \sum_t^n \frac{C_t^{O\&M} (1+i)^t}{(1+R)^t} = C^{cap} + \sum_t^n C_t^{O\&M} \left[\frac{1+i}{1+R} \right]^t, \quad (3.8)$$

де R – номінальна ставка дисконту, % визначається із (3.2):

$$R = (1+r) \times (1+i) - 1.$$

У виразах (3.6)–(3.8) особливу увагу слід приділити порядкові визначення показника C^{cap} – загальної сума капітальних витрат на проектування будівництво й монтаж об'єкта, з урахуванням обслуговування заборгованості (сплати відсотків за банківські позики), оскільки саме до цієї складової витрат розрахункові дані нормативної ціни зазвичай демонструють найвищу чутливість. Розрахункові експерименти щодо аналізу чутливості модельних розрахунків є найбільш вагомим розділом економіко-математичного моделювання енергетичної задачі. Результати аналізу чутливості дозволяють оцінити адекватність прийнятих попередньо припущень та підтвердити у підсумку вірогідність застосування розробленої моделі як адаптованого інструменту досліджень.

Для демонстрації відмінностей щодо базових визначень нормованої ціни виробництва на рисунку 3.2 зображено графічні залежності нормованих цін у розрізі по роках експлуатації.

Орієнтовні дані наведені для ринкових умов країн Азійського регіону, протягом 20 років для значень дисконту 10% й інфляції 2,5%; розрахунки виконані у грошових одиницях КНР (юань, RMB_{2010}).

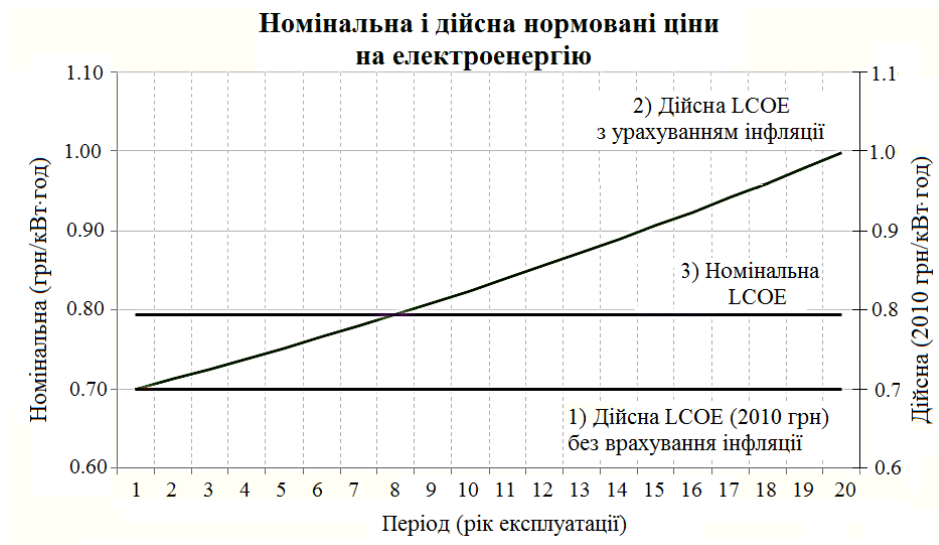


Рисунок 3.2 – Базові визначення нормованої ціни на електроенергію.

Рівняння балансу грошових потоків (3.4) можна спрощено записати для отримання розрахункових оцінок, розглядаючи його для будь-якого усередненого періоду t . Для цього слід припустити, що потоки надходжень і витрат рівномірно розподіляються у часі (по роках); відповідно, доводиться додатково вважати незмінними у часі технічних показників об'єкта (підтримуються проектні значення), що дозволяє оперувати сталим значенням щорічного виробітку енергопродукту протягом усього життєвого циклу (на рівні планового річного значення).

3.3.2 Особливості визначення вартості капітальних витрат

Для визначення вартості капітальних витрат за схемою $LCOE$, сумарні капітальні витрати за проектом розраховуються шляхом компаундування дійсної розрахункової вартості цих витрат (overnight cost) із зваженою середньою ставкою r_w відповідно до порядку фінансування – від початку будівництва і до його завершення, протягом терміну k років:

$$C^{cap} = \sum_t^n P_t \cdot \frac{C \cdot (1 + r_w)^k}{(1 + r_w)^{t-1}}, \quad (3.9)$$

де C – загальний обсяг фінансування будівництва визначений на початку фінансування (дійсний капітал – overnight cost, або Engineering & Procurement Cost – EPC); P_t – частка планових капітальних витрат overnight в році t , %. Зважена середня ставка вартості капіталу r_w залежить від співвідношення між вартістю власного та позичкового капіталу, скерованого забудовником/власником на реалізацію проекту; часто позначають, як WACC – Weighted Average Cost of Capital [47]. Найчастіше саме на цьому значенні ґрунтується вибір ставки дисконтування r у всіх записаних вище виразах, і вона є залежною від фінансових показників юридичної особи-власника проекту.

Для коректного врахування особливостей оподаткування, дійсну вартість приведених капітальних витрат слід виразити у номінальній ціні грошей, тоді (3.9) записують з урахуванням (3.1) так:

$$C^{cap} = \sum_t^n P_t \cdot \frac{C \cdot (1 + R)^k}{(1 + R)^{t-1}}.$$

У випадках, коли інвестиції розподіляються рівномірно протягом k років терміну будівництва, у практиці розрахунків використовують також поняття ефективних щорічних капітальних витрат (Equivalent Annual Cost – EAC):

$$EAC^{cap} = C / A_{n,r} = C \cdot CRF = C \cdot \left[\frac{r}{(1+r)^k - 1} + r \right] = C \frac{r(1+r)^k}{(1+r)^k - 1}, \quad (3.10)$$

де $1/A_{n,r}$ – коефіцієнт щорічної ренти або Capital Recovery Factor – CRF (також Fixed Charge Factor – FCF або annuity), причому (3.3) можна переписати у вигляді:

$$PV_{\text{cost}} = \sum_t^n (EAC^{\text{cap}} + C_t^{\text{O\&M}}) / (1+r)^t, \quad (3.11)$$

а нормована вартість енергопродукту L_t у періоді t визначається із (3.3) з урахуванням (3.5) і є незмінною протягом життєвого циклу:

$$L_t = EAC^{\text{cap}} + C_t^{\text{O\&M}} / Q_t = L_{\text{COE}}, \quad (3.12)$$

де Q_t – вироблена протягом одного періоду енергія з урахуванням припущення про незмінність у часі продуктивності енергоустановки.

Важливим є питання визначення структури капітальних витрат у поєднанні з концепцією обраної моделі за схемою визначення нормованої ціни виробництва. Питання капітальної вартості тісно пов'язане з проблемою визначення дійсної вартості основних виробничих фондів.

З одного боку, це питання є складним і неоднозначним у зв'язку із спробами інтерпретувати вартісні показники, запроваджені в термінах та категоріях економічного аналізу, з позицій «бухгалтерської» практики. Водночас з іншого – питання бухгалтерського обліку дійсно постає, зокрема обліку встановлених потужностей з подальшим врахуванням надходжень у формі надбавок до тарифу за потужність, чи у залежності від обсягів кінцевого виробництва. Також постає питання збільшення капітальних витрат частині виконання технічних вимог щодо під'єднання до електромережі електростанцій залежно від встановленої потужності. Додаткові витрати на інтеграцію до електромережі стануть необхідною компонентом у структурі капітальних витрат щойно такі технічні вимоги будуть погоджені і затверджені відповідними нормативними рішеннями регулятора та оператора мережі. Крім того, протягом розрахункового терміну може змінитися модель функціонування ринку електроенергії. Ймовірно виникне необхідність корегування вартості електроенергії у зв'язку із витратами на транспортування енергії електромережами до споживача за укладеним двостороннім договором.

В умовах справжньої ринкової системи, кон'юнктура ринку залежить від попиту і пропозиції, і питання прибутковості об'єкта електрогенерації залежить від рівня граничної прибутковості MR що досяжним на доступному ринку й кривої граничної вартості виробництва MC .

Для розрахунків техніко-економічних показників КСЕ використовуємо запис моделі життєвого циклу за схемою дійсної номінальної нормованої ціни L_{COE} та L_{CON} , де враховано темп деградації установки PDR (perf for drop), а сумарні щорічні капітальні витрати C^{cap} взято з вирахуванням приведеної залишкової вартості RV :

$$L_{COE} = \frac{C^{cap} - \frac{RV}{(1+r)^n} + \sum_t^n \frac{C_t^{O\&M} (1+i)^t}{(1+r)^t}}{8760 \cdot \sum_t^n \frac{GW_e \cdot C_{ft} (1-PDR)^t}{(1+r)^t}}. \quad (3.13)$$

$$C^{CAP} + \sum_t^n \frac{C_t^{O\&M}}{(1+r)^t} = \sum_t^n Q_t \cdot L_t = \sum_t^n \frac{Q_t \cdot C_f}{(1+r)^t} \cdot L_t, \quad (3.14)$$

$$L_t = L_{CON} \cdot (1+i)^t, \quad (3.15)$$

де L_{CON} – нормована ціна виробництва теплової енергії в дол. США, Q_t – обсяг річного виробітку; тривалість життєвого циклу $n=20$ років. КВВП установки $C_f = 0,9$.

Такий запис моделі за схемою L_{COE} використовує компанія SunPower Corporation [48].

Висновки

1. За традиційною практикою вибір найкращого рішення довгострокового проекту об'єкта в енергетичній галузі здійснюють шляхом співставлення розрахункових показників, отриманих в результаті варіантних і розрахунків за моделю життєвого циклу.

2. Для техніко-економічних розрахунків враховують всі складові витрат, що стосуються капітальних вкладень: витрати на будівництво нових об'єктів, розширення і реконструкцію вже діючих, придбання обладнання, передачу частини обладнання на інший об'єкт і т. д. Щорічні експлуатаційні витрати в системах електропостачання визначаються витратами на втрати електроенергії, утримання обслуговуючого персоналу та поточний ремонт, амортизацію, паливо, матеріали, сировину та допоміжні витрати.

3. Для визначення вартості капітальних витрат за схемою *LCOE*, сумарні капітальні витрати за проектом розраховуються шляхом компаундування дійсної розрахункової вартості цих витрат із зваженою середньою ставкою відповідно до порядку фінансування – від початку будівництва і до його завершення, протягом терміну. Найчастіше саме на цьому значенні ґрунтується вибір ставки дисконтування, і вона є залежною від фінансових показників юридичної особи-власника проекту.

4. У даному розділі отримані еквівалентні розрахункові значення нормованих цін *LCOE* та розрахункові значення операційних витрат на обслуговування, на оплату праці та інших витрат для технологій застосованих у моделі.

4 ЧИСЛОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ВАРІАНТНИХ РОЗРАХУНКІВ ТА ЇХ ІНТЕРПРЕТАЦІЯ

Прогнозування це складний процес який залежить від багатьох факторів та враховуючи складну геополітичну та економічну ситуацію в Україні результати числового моделювання виконано на короткий період - 5 років в межах горизонту до 2022 року. На основі вхідних технологічних та економічних коефіцієнтів розроблених в попередніх розділах отримані наступні результати розрахунків моделі Канторовича з розподілом ресурсів при заданій їх сукупній вартості та заданими цінами ресурсів.

4.1 Результати розрахунків за базовим сценарієм

Результати числового моделювання в межах горизонту до 2022 року відповідно до базового сценарію (рис. 2.19) представлено на рис. 4.1. В стовпчику «ПравЧаст» відображено числові значення прийнятих для розрахунку обмежень на використання палив та енергетичних ресурсів, в т.н.е., а також сукупного розміру інвестицій в сумі 1 200 млн долл. США.

Конструкція моделі МРІ відображає функціонування 10-ти технологічних способів – по п'ять для виробництва теплової та електричної енергії відповідно; два технологічні способи – «Котли ТЕЦ...» та «Біогазові установки» зазвичай є комбінованими; але оскільки паливна база містить біогаз різного походження (вироблений з відходів тваринництва та твердих побутових відходів – ТПВ), ці способи виокремлені у два окремих стовпчики в групах «Теплова енергія ВДЕ» та «Електрична енергія ВДЕ» відповідно. Із біогазу ТПВ виробляють лише електроенергію – це відповідає практиці господарювання, пов'язаній із віддаленістю майданчиків (звалищ) ТПВ що унеможливилює налагодження збуту теплової енергії.

За обраним сценарієм передбачається рівномірне використання надходжень інвестиційного капіталу протягом періоду 2018-2022 років, відповідно, з урахуванням об'єктивно необхідних затрат часу на спорудження,

валові випуски енергопродуктів, розраховані моделлю MPI за схемою Канторовича (можна віднести до експлуатаційного періоду тривалістю 5 (п'ять) роки.

Бачимо повне використання інвестиційних коштів, $\Delta y^{Assets} = 0$ тис. долл. США за балансовим рівнянням (1.19) – адже всього згідно розрахунку капіталізація на кінець 2022 р. становить 1 200 млн долл. США, що пов'язано із обмеженням ресурсів: біопалив і більш значною мірою енергій сонячного випромінювання, вітру та гідроенергетичного ресурсу малих річок. До прикладу, обмеження значення гідроресурсів на рівні 10 тис. т н.е. означає задіяння дев'ятої частини від прогнозного значення абсолютного технічного потенціалу який відповідає 1020 ГВт·год додаткової електроенергії (~88 тис. т н.е.).

Нульові значення зрівнювальних змінних λ_{ij}^{fuel} у стовпчику «ЗрівнЗмінні» означає повне використання ресурсу (палива) модельованими технологічними способами – в межах обсягів, обумовлених значеннями правих частин відповідних балансових рівнянь типу (1.16). Ненульові значення зрівнювальних змінних означають залишку ресурсів (недовикористання біопалив, зокрема) із обмежених правими частинами балансових рівнянь обсягів.

На рисунку 4.2 відображено результат, який розраховує модель на основі вхідних даних.

У таблицю 4.1 перенесені числові значення обсягів основних змінних модельованої системи з рисунку 4.2. В її нижній частині з метою контролю та перевірки на адекватність отриманих розрахункових результатів, наведено сумарні значення випуску теплової енергії, у тис. Гкал, та електричної енергії – у ГВт·год; а сума обсягів випуску обох енергопродуктів із врахуванням втрат в тонах нафтового еквіваленту (т н.е.) точно відповідає розрахунковому значенню скалярного значення асортиментного вектора Канторовича (ABK).

Обсяг енергопродуктів випуску бруutto за умов освоєння інвестованого капіталу становить близько 23,1 млн Гкал.

		Блок вертикальних векторів			
		ЗрівнВек	ПравЧаст	ВертЦВ	НижніГр
RowNm89		VerData89 - блок вертикальних векторів			
		ЗрівнЗмінні			
pr.01	Електрична енергія ГЕС ОЕС, т.н.е.	0	0		Void
pr.02	Електрична енергія ТЕС ОЕС, т.н.е.	0	0		Void
pr.03	Е/е зовнішня, підсумовування, т.н.е.	0	0		Void
pr.04	Е/е резервування від ОЕС, т.н.е.	0	0		Void
pr.05	Теплова енергія, т.н.е. (Гкал)	0	0		Void
pr.06	Електрична енергія, т.н.е. (ГВт-год)	0	0		Void
re.51	Дрова, сухий стан	1	30000		1877,99
re.52	Тріска деревна, насипом, вологість 20%	1	38000		3114,25
re.53	Тріска деревна, насипом, вологість 40%	1	5000		1709,68
re.54	Тріска деревна, насипом, вологість 50%	1	3750		1137,1
re.55	Тріска деревна, утрамбована, вологість 40%	1	5000		1709,68
re.56	Стружка деревна, утрамбована, вологість 7-15%	1	6000		1000
re.57	Тирса деревна, вологість 33-38% (насип)	1	6000		516,129
re.58	Пелети (брикети) з дерева	1	50000		8497,98
re.59	Пелети (брикети) з соломи	1	40000		2106,85
re.60	Пелети (брикети) з лушпиння соняшника	1	7750		1862,9
re.61	Енергетична деревина, сухий стан	1	5500		1306,45
re.62	Солома зернових, вологість 15%, малі тюки	1	30000		0
re.63	Солома зернових, вологість 15 %, великі тюки	1	5000		354,839
re.64	Солома ріпаку	1	5000		0
re.65	Біогаз із відходів тваринництва, 55% метану	1	23000		0
re.66	Біогаз із ТБО сміттєзвалищ, 50% метану	1	23000		0
re.67	Скидне потоки (низькопотенціальна теплота)	1	2300		0
re.68	Енергія геотермальних вод	1	7500		7500
re.69	Гідроенергетичні ресурси	1	10000		0
re.70	Енергія сонця	1	400000		117559
re.71	Енергія вітру	1	400000		0
re.72	Оплата праці та інші витрати 1, тис дол	-1	0		1744,54
re.73	Оплата праці та інші витрати 2, тис дол	-1	0		540,245
re.74	Оплата праці та інші витрати 3, тис дол	-1	0		23
re.75	Оплата праці та інші витрати 4, тис дол	-1	0		21031,1
re.76	Оплата праці та інші витрати 5, тис дол	-1	0		2307,02
re.77	Основні та обігові фонди 1, тис дол	0	0		Void
re.78	Основні та обігові фонди 2, тис дол	0	0		Void
re.79	Основні та обігові фонди 3, тис дол	0	0		Void
re.80	Основні та обігові фонди 4, тис дол	0	0		Void
re.81	Основні та обігові фонди 5 тис дол	0	0		Void
re.82	Оплата праці та інші витрати 1, тис дол	-1	0		0
re.83	Оплата праці та інші витрати 2, тис дол	-1	0		1183,53
re.84	Оплата праці та інші витрати 3, тис дол	-1	0		67418,6
re.85	Оплата праці та інші витрати 4, тис дол	-1	0		114759
re.86	Оплата праці та інші витрати 5, тис дол	-1	0		1883,04
re.87	Основні та обігові фонди 1, тис дол	0	0		Void
re.88	Основні та обігові фонди 2, тис дол	0	0		Void
re.89	Основні та обігові фонди 3, тис дол	0	0		Void
re.90	Основні та обігові фонди 4, тис дол	0	0		Void
re.91	Основні та обігові фонди 5, тис дол	0	0		Void
re.si	Розподіл суми інвестицій, тис дол	1	1200000		0,00
		Освоєна сума інвестицій =			
		1 200 000,00			

Рисунок 4.1 – Використання фондів: енергетичні ресурси (палива) та баланс інвестованого капіталу/коштів

		ЗОВНІШНЯ ЕНЕРГІЯ - РЕЗЕРВУВАННЯ ВДЕ					ТЕПЛОВА ЕНЕРГІЯ ВДЕ					ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГІЯ ВДЕ					АВК
Приклад 89. Модель Канторовича з розподілом основних й обігових фондів при заданій їх сукупній вартості й заданими цінами (оцінками) ресурсів. Горизонт 2020 р.		ГЕС ОБС України	ТЕС ОБС України	Електрична енергія зовнішня, пісуювання	Електрична енергія зовнішня, пісуювання	Електрична енергія резервування, запущення	Опалювальні котли на соломі/стеблах та соломі'яних пеллетах	Котли та ТЕН на деревині, деревних пеллетах та біомасі	ТНУ вод/вода та вод/вода (теплогоспод. системи, од. потужність 1-5 МВт_ел)	Автономні інтегровані колекторні установи з накопичувачем тепла (ІКУНГ)	Біогасова установка, теплова енергія	ГеоТЕС - електроенергія (бінарна установка)	Малі ГЕС, < 10 МВт	ВЕС	СФЕС	Біогасова установка, електрика	Асортиментний вектор Канторовича
		ColNm89 - імена стовпів															
		tp.01.1	tp.01.2	tp.01.3	tp.01.4	tp.01.5	tp.02.1	tp.02.2	tp.02.3	tp.02.4	tp.02.5	tp.03.1	tp.03.2	tp.03.3	tp.03.4	tp.03.5	av.00
re.si	Розподіл суми інвестицій, тис дол																
		HorData89 - цільовий вектор, обмеження зверху і знизу, змінні															
Цільовий вектор		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Верхні обмеження		8,00E+04	1,00E+10	1,00E+10	1,00E+10	1,00E+10	1,00E+10	1,00E+10	1,00E+10	1,00E+10	1,00E+10	1,00E+10	1,00E+10	1,00E+10	1,00E+10	1,00E+10	1,00E+10
Змінні		80000	488581	77600	473923	551 523,0	87 227,1	13 506,1	1 916,7	420 622,0	100 305,0	0,0	14 285,7	888 889,0	919 145,0	76 846,0	2 312 700,0
Нижні обмеження		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Рисунок 4.2 – Результати розрахунків: «основні змінні» – інтенсивності використання технологічних способів x_m^{Rsv} , $x_j^{E,Q}$ в рядку «Змінні» та значення асортиментного вектора Канторовича (валовий випуск набору енергопродуктів бруто за вирахуванням втрат g_j^E , g_j^Q і g_m^{Rsv}) становить 2 313 млн т н.е.; також нижні та верхні обмеження змінних, в тоннах нафтового еквіваленту (т н.е.) *.

*Примітки: 1) Резервування потужностей об'єктів з технологіями Е-ВДЕ забезпечується постачанням ззовні електроенергії в обсязі, виробленої великими ГЕС/ГАЕС та блоками ТЕС.

2) Для оцінки інтенсивностей (обсягів без врахування втрат, зумовлених технологічними коефіцієнтами g_j^E , g_j^Q і g_m^{Rsv}) слід застосувати коефіцієнти перерахунку: тепла енергія – обсяги в т н.е. помножити на число «10» для отримання числових оцінок в Гкал; електроенергія – обсяги в т н.е. поділити на число «86» для отримання оцінок обсягів виробництва у ГВт·год.

Таблиця 4.1 – Результати розрахунків: значення основних змінних: валові обсяги та випуск енергопродуктів нетто: т н.е., Гкал, ГВт·год.

Технологічний спосіб	Розрахункові обсяги виробництва		
	т н.е.	Тис. Гкал	ГВт·год
ГЕС ОЕС України	80000	800	
ТЕС ОЕС України	488581	536,6	
Електрична енергія зовнішня, підсумовування	77600	776	
Електрична енергія зовнішня, підсумовування	473923	520,5	
Електрична енергія для резервування об'єктів Е-ВДЕ, залучення	551523	5980,7	
Опалювальні котли на деревині, соломі/стеблах та пелетах	87227	1529,4	
Котли та ТЕЦ на деревині, деревних пелетах та біомасі	13506	242,3	
ТНУ вода/вода та вода/повітря (теплонасосні системи, од. потужністю 1-5 МВт _{ел})	1 916	19,17	
Автономні інтегровані колекторні установки з накопичувачем тепла (ІКУНт)	420622	3706	
Біогазова установка, виробництво теплової енергії	100305	1671,8	
ГеоТЕС - електроенергія (бінарна установка)	0		0
Малі ГЕС, < 10 МВт	14 285		166
Вітрові електростанції (ВЕС)	888889		10335
Сонячні фотоелектричні станції (СФЕС)	877680		10321
Біогазова установка, виробництво електричної енергії	76846		893
Валовий випуск енергії з вирахуванням втрат, ВСЬОГО, в т.ч.:	2312700		
- теплова енергія (0,2)	462540	4625	
- електроенергія (0,8)	1850160		21513
Асортиментний вектор Канторовича (ABK)	2312700	23127	26891

4.2 Результати розрахунків за оптимістичним сценарієм

Результати числового моделювання в межах горизонту до 2022 року відповідно до оптимістичного сценарію (рис. 2.19) представлено на рис. 4.3. В стовпчику «ПравЧаст» відображено числові значення прийнятих для розрахунку обмежень на використання палив та енергетичних ресурсів, в т н.е., а також сукупного розміру інвестицій в сумі 1 500 млн долл. США.

Бачимо повне використання інвестиційних коштів, $\Delta y^{Assets} = 0$ тис. долл. США за балансовим рівнянням (1.19) – адже всього згідно оптимістичного розрахунку капіталізація на кінець 2022 р. становить 1 500 млн долл. США, що пов'язано із обмеженням ресурсів: біопалив і більш значною мірою енергій сонячного випромінювання, вітру та гідроенергетичного ресурсу малих річок.

У таблицю 4.2 перенесені числові значення обсягів основних змінних модельованої системи за оптимістичним сценарієм. В її нижній частині з метою контролю та перевірки на адекватність отриманих розрахункових результатів, наведено сумарні значення випуску теплової енергії, у тис. Гкал, та електричної енергії – у ГВт·год; а сума обсягів випуску обох енергопродуктів із врахуванням втрат в тонах нафтового еквіваленту (т н.е.) точно відповідає розрахунковому значенню скалярного значення асортиментного вектора Канторовича (ABK). Обсяг енергопродуктів випуску бруто за умов освоєння інвестованого капіталу становить близько 27,5 млн Гкал.

З отриманих розрахунків можна визначити, що найбільш перспективними для виробництва теплової енергії є інтегровані геліоколекторні установки з накопичувачами теплоти (ІКУН) та комбіновані установки спалювання біогазу, виробленого з відходів тваринництва. Так само продуктивними є й вітрові електростанції – що зумовлено їх нижчою середньою (приведеною) фондомісткістю порівняно із СЕС/СФЕС – в тому числі із-за більш тривалого розрахункового терміну експлуатації (тривалості життєвого циклу).

		Блок вертикальних векторів			
		ЗрівнВек	ПравЧаст	ВертЦВ	НижніГр
RowNm89		VerData89 - блок вертикальних векторів			
				ЗрівнЗмінні	Е
pr.01	Електрична енергія ГЕС ОЕС, т.н.е.	0	0		Void
pr.02	Електрична енергія ТЕС ОЕС, т.н.е.	0	0		Void
pr.03	Е/е зовнішня, підсумовування, т.н.е.	0	0		Void
pr.04	Е/е резервування від ОЕС, т.н.е.	0	0		Void
pr.05	Теплова енергія, т.н.е. (Гкал)	0	0		Void
pr.06	Електрична енергія, т.н.е. (ГВт-год)	0	0		Void
ge.51	Дрова, сухий стан	1	30000		1877,99
ge.52	Тріска деревна, насипом, вологість 20%	1	38000		3114,25
ge.53	Тріска деревна, насипом, вологість 40%	1	5000		1709,68
ge.54	Тріска деревна, насипом, вологість 50%	1	3750		1137,1
ge.55	Тріска деревна, утрамбована, вологість 40%	1	5000		1709,68
ge.56	Стружка деревна, утрамбована, вологість 7-15%	1	6000		1000
ge.57	Тирса деревна, вологість 33-38% (насип)	1	6000		516,129
ge.58	Пелети (брикети) з дерева	1	50000		8497,98
ge.59	Пелети (брикети) з соломи	1	40000		2106,85
ge.60	Пелети (брикети) з лушпиння соняшника	1	7750		1862,9
ge.61	Енергетична деревина, сухий стан	1	5500		1306,45
ge.62	Солома зернових, вологість 15%, малі тюки	1	30000		0
ge.63	Солома зернових, вологість 15 %, великі тюки	1	5000		354,839
ge.64	Солома ріпаку	1	5000		0
ge.65	Біогаз із відходів тваринництва, 55% метану	1	23000		0
ge.66	Біогаз із ТБО сміттєзвалищ, 50% метану	1	23000		0
ge.67	Скидне потоки (низькопотенціальна теплота)	1	2300		0
ge.68	Енергія геотермальних вод	1	7500		7500
ge.69	Гідроенергетичні ресурси	1	10000		0
ge.70	Енергія сонця	1	400000		23767,7
ge.71	Енергія вітру	1	400000		0
ge.72	Оплата праці та інші витрати 1, тис дол	-1	0		1744,54
ge.73	Оплата праці та інші витрати 2, тис дол	-1	0		540,245
ge.74	Оплата праці та інші витрати 3, тис дол	-1	0		23
ge.75	Оплата праці та інші витрати 4, тис дол	-1	0		26193,4
ge.76	Оплата праці та інші витрати 5, тис дол	-1	0		2307,02
ge.77	Основні та обігові фонди 1, тис дол	0	0		Void
ge.78	Основні та обігові фонди 2, тис дол	0	0		Void
ge.79	Основні та обігові фонди 3, тис дол	0	0		Void
ge.80	Основні та обігові фонди 4, тис дол	0	0		Void
ge.81	Основні та обігові фонди 5 тис дол	0	0		Void
ge.82	Оплата праці та інші витрати 1, тис дол	-1	0		0
ge.83	Оплата праці та інші витрати 2, тис дол	-1	0		1183,53
ge.84	Оплата праці та інші витрати 3, тис дол	-1	0		67418,6
ge.84	Оплата праці та інші витрати 3, тис дол	-1	0		67418,6
ge.85	Оплата праці та інші витрати 4, тис дол	-1	0		160894
ge.86	Оплата праці та інші витрати 5, тис дол	-1	0		1883,04
ge.87	Основні та обігові фонди 1, тис дол	0	0		Void
ge.88	Основні та обігові фонди 2, тис дол	0	0		Void
ge.89	Основні та обігові фонди 3, тис дол	0	0		Void
ge.90	Основні та обігові фонди 4, тис дол	0	0		Void
ge.91	Основні та обігові фонди 5, тис дол	0	0		Void
ge.si	Розподіл суми інвестицій, тис дол	1	1500000		0,00
		Освоєна сума інвестицій =			1 500 000,00

Рисунок 4.3 – Використання фондів: енергетичні ресурси (палива) та баланс інвестованого капіталу/коштів

Таблиця 4.2 – Результати розрахунків: значення основних змінних: валові обсяги та випуск енергопродуктів нетто: т н.е., Гкал, ГВт·год.

Технологічний спосіб	Розрахункові обсяги виробництва		
	т н.е.	тис. Гкал	ГВт·год
ГЕС ОЕС України	80000	800	
ТЕС ОЕС України	602863	6029	
Електрична енергія зовнішня, підсумовування	77600	776	
Електрична енергія зовнішня, підсумовування	584777	5848	
Електрична енергія для резервування об'єктів Е-ВДЕ, залучення	662377	6624	
Опалювальні котли на деревині, соломі/стеблах та пелетах	87227	8723	
Котли та ТЕЦ на деревині, деревних пелетах та біомасі	13506	1351	
ТНУ вода/вода та вода/повітря (теплонасосні системи, од. потужністю 1-5 МВт _{ел})	1 916,7	19,17	
Автономні інтегровані колекторні установки з накопичувачем тепла (ІКУНт)	523869	5238	
Біогазова установка, виробництво теплової енергії	100305	1003	
ГеоТЕС - електроенергія (бінарна установка)	0		0
Малі ГЕС, < 10 МВт	14 285,7		166
Вітрові електростанції (ВЕС)	888889		10335
Сонячні фотоелектричні станції (СФЕС)	1288660		14984
Біогазова установка, виробництво електричної енергії	76846		893
Валовий випуск енергії з вирахуванням втрат, ВСЬОГО, в т.ч.:	2751500		
- теплова енергія (0,2)	550300	5503	
- електроенергія (0,8)	2201200		25595
Асортиментний вектор Канторовича (АВК)	2751500	27515	31994

Висновки

1. За даними розв'язків моделі (таблиці 4.1 та 4.2) можна зробити висновки щодо «конкурентоспроможності» основних технологій виробництва теплової та електричної енергії без врахування дії механізмів субсидування. Найбільш перспективними для виробництва теплової енергії є інтегровані геліоколекторні установки з накопичувачами теплоти (ІКУН) та комбіновані установки спалювання біогазу, виробленого з відходів тваринництва. Так само продуктивними є й вітрові електростанції – що зумовлено їх нижчою середньою (приведеною) фондомісткістю порівняно із СЕС/СФЕС – в тому числі із-за більш тривалого розрахункового терміну експлуатації (тривалості життєвого циклу). В цей же час технологій виробництва енергії з ГеоТЕС не витримують конкуренції і є дорогими.

2. За певних визначених (погоджених) умов врахування дії механізму субсидування шляхом коригування фондомісткості технологій Е-ВДЕ, щодо яких діють визначені законодавством України пільгові зелені тарифи, існує можливість виконати варіантні модельні розрахунки, які покажуть картину перерозподілу інвестицій в термінах горизонту дії субсидій до 2030 року – з урахуванням пріоритетності фінансування проектів Е-ВДЕ інвестування відповідно до значень ефективних вартісних показників таких об'єктів.

3. Слід зазначити, що країна має надлишок генеруючих потужностей в електроенергетиці, у той час як попит промислових підприємств на електроенергію - суттєво знизився. Отже, на першому плані проглядається проблема загальдержавного значення - раціонального (доступного для споживача за ціною та технологічною реалізованістю) теплозабезпечення та розвиток генерації електроенергії за технологіями, які не потребують резервування (біоенергетика, гідроенергетика) і для котрих у наявності є достатні енергетичні ресурси та виробничі потужності в Україні.

5 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

5.1 Опис ідеї проекту

За останні роки в Україні побудували велику кількість об'єктів генерації електричної енергії на основі відновлювальних джерел енергії. Такі технології на теперішній час пригортають дуже багато уваги та є цікавими для людей.

Багато людей далекі від бажання активно досліджувати об'єкти і нелегально проникати на їх територію і задовольняються спогляданням індустріальних пейзажів і об'єктів промислової архітектури за допомогою екскурсій на діючі об'єкти промисловості. Для них організовуються спеціальні тури в різні міста світу. В Україні цей вид туризму розвинений слабо, на відміну від країн Європейського союзу і Північної Америки, де він має вельми широке поширення.

Також існують спеціальні тури для бізнесменів, які цікавляться промисловістю і знаходяться в пошуку вигідного вкладення коштів у виробництво.

За весняно-літній туристичний сезон енергетики Ботієвської вітроелектростанції (ВЕС) провели екскурсії для тисячі відвідувачів. Це на 40% більше кількості екскурсантів за аналогічний період 2016 року. Всього з початку року на станції провели 35 турів для бажаючих ознайомитися з роботою вітроенергетичного підприємства. Такий вид туризму також називають індустріальним [49].

Згідно з інтерактивною картою [50] (рис. 5.1) можна побачити, що в Україні існує велика кількість об'єктів ВДЕ на півдні країни, які можуть зацікавити відпочиваючих на узбережжі Чорного та Азовського моря. Також дані подорожі цікаві для школярів та студентів у всіх регіонах. Завдяки залученню цих груп клієнтів, даний напрямок є актуальним протягом усього року на всій території країни.

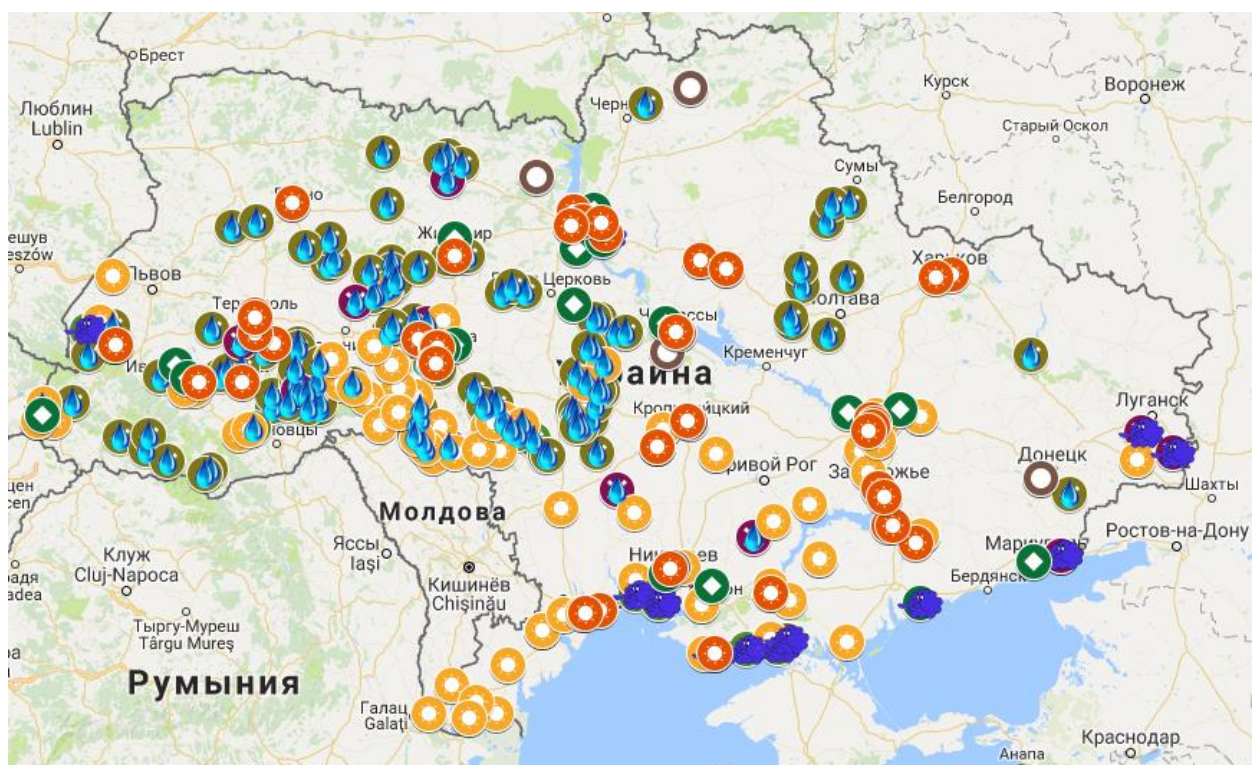


Рисунок 5.1 – Карта об'єктів ВДЕ України

5.2 Технологічний аудит проекту

Ідея проекту полягає в розвитку малорозвиненого в Україні промислового туризму та організації екскурсій на об'єкти ВДЕ для усіх бажаючих, продажу сувенірної продукції, а також розповсюдження рекламної продукції компаній партнерів. Більш детальний опис показано в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Зміст ідеї проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Організації екскурсій на об'єкти ВДЕ	Організація екскурсій для відпочиваючих у південних регіонах	<ul style="list-style-type: none"> - Розширення особистого кругозору; - Культурний розвиток; - Гарні спогади; - Розвиток соціальної відповідальності; - Можливість впровадження установок ВДЕ вдома.
	Організація учнів для студентів, школярів.	
	Організація екскурсій для звичайних туристів, яким цікаві сучасні технології.	
	Продаж сувенірної продукції	

Промисловий турзим в Україні малорозвинутий, тому прямих конкурентів немає. Проте існує велика кількість звичайних туристичних компаній: <https://vidviday.ua/>, <https://kraina-ua.com/>, <https://feerie.com.ua/> та інші.

В таблиці 5.2 наведено співставний аналіз мого продукту із продуктом-аналогом, а також виконано аналіз сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту.

Таблиця 5.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї	Потенційні концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект	Конкурент			
Проведення екскурсій на об'єкти ВДЕ для відпочиваючих на півдні країни	Наявний великий вибір	Даний вид туризму не розвинен			+
Проведення екскурсій на об'єкти ВДЕ для школярів/студентів	Залучення великої кількості шкіл та вищій навчальних закладів	Залучення данної групи клієнтів за стандартними напрямками			+
Наявність сувенірної продукції	Сувенірна продукція, що відповідає тематиці екскурсії	Звичайна сувенірна продукція			+

Аналіз показав, що в порівнянні з найближчим продуктом-конкурентом, даний продукт має повну домінацію у заданому напрямку.

У таблиці 5.3 наведено переваги та недоліки проекту.

Таблиця 5.3 – Переваги та недоліки проекту

Переваги	Недоліки
Широкий вибір напрямів екскурсій	Велика кількість потенційних конкурентів
Широкий вибір об'єктів для відвідування	
Можливість заробляти на сувенірній продукції	
Постійне збільшення об'єктів ВДЕ	Нестабільна політична ситуація у країні
Модний напрям розвитку бізнесу	

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

У таблиці 5.4 здійснено аналіз попиту потенційного ринку стартап-проекту.

Таблиця 5.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

Показники стану ринку	Характеристика
Кількість головних гравців, од	0
Динаміка ринку	зростає
Наявність обмежень на ринку	відсутні
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Не потребує стандартизації та сертифікації

Аналізуючи ринок, якого стосується цей проект, можна сказати, що кількість конкуруючих проектів дуже мала на ринку, проте попит на дану продукцію стрімко зростає. Зростання попиту зумовлено збільшенням популярності технологій з ВДЕ, зокрема можливістю їх провадження у повсякденному житті.

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту наведена в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Промислові екскурсії	Наукова, дослідницька, пізнавальна діяльність	Для наукової чи дослідницької діяльності потребується достовірність та повнота інформації	Повнота інформації
			Достовірність даних
		При застосуванні в пізнавальній діяльності, першочергово необхідна простота донесеної інформації	Широта сфери застосування
			Простота донесеної інформації

Здійснений аналіз ринкового середовища (факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають) показано в таблицях 5.6-5.7

Таблиця 5.6 – Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція
Конкуренція	Створення аналогічних екскурсій іншими фірмами	Зниження попиту на даний проект
Складне економічне становище в країні	Нестабільна ситуація у країні, робить не приваблими для відвідування деякі регіони	

Таблиця 5.7 – Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція
Підтримка влади	Можливісті залучити усі освітні заклади країни	Зростання зацікавленості до даного продукту
Зростання інвестицій в технології з ВДЕ в Україні	Доступність екскурсій у кожному регіоні, не потрібні далекі подорожі	

З аналізу факторів можливостей та загроз робимо висновок, що реально погрозуючими факторами може стати лише задійснення даного напрямку конкурентами. Щодо можливостей – то постійна підтримка проекту (залучення освітніх закладів) зумовить зростання попиту на даний проект.

В таблиці 5.8 представлено SWOT- аналіз впровадження проекту.

Таблиця 5.8 – SWOT - аналіз впровадження проекту.

S (сильні сторони)	W (слабкі сторони)
<ul style="list-style-type: none"> - проект не має рівносильних аналогів; - можливість постійної підтримки проекту (зростання бази клієнтів); - якість продукту (відповідання очікуванням); 	<ul style="list-style-type: none"> - реклама продукту; - взаємовідносини з органами влади (робота з освітніми закладами);
O (можливості)	T (загрози)
<ul style="list-style-type: none"> - зростання попиту на технології з ВДЕ; - підтримка влади; 	<ul style="list-style-type: none"> - зниження доходів потенційних споживачів - активізація конкуренції - цінова конкуренція

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів представлено в таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Цільові групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів прийняти продукт	Орієнтований попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
Відпочиваючі на півдні країни	Повна готовність	Високий	Слабка	Просто
Школярі	Повна готовність	Високий	Слабка	Просто
Студенти	Повна готовність	Високий	Слабка	Просто
Звичайні туристи	Часткова готовність	Помірний	Висока	Складно
Які цільові групи обрано: Відпочиваючі на півдні країни, школярі, студенти.				

Виходячи з даного аналізу, було прийнято рішення обрання стратегії розвитку : заняття конкурентної ніші. При прийнятті стратегії зайняття конкурентної ніші (інші назви – стратегія фахівця або нішера) компанія в якості цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів. Ця конкурентна стратегія являється похідною від такої базової стратегії компанії, як концентрація. Ніша, для того, щоб вона була привабливою для компанії, повинна задовольняти таким умовам:

- бути досить прибутковою, щоб робити доцільним процес виробництва і обслуговування;
- залишатися стабільною упродовж тривалого проміжку часу;

- має бути добре захищеною, мати високі вхідні бар'єри;
- бути непривабливою для конкурентів;
- відповідати цілям і ресурсам компанії, її специфічним можливостям.

Головне завдання для компаній, що вибирають стратегію нішера або фахівця, – це постійна турбота про підтримку і розвиток своєї конкурентної переваги, формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Ключові переваги концепції потенційного товару зазначені в таблиці 5.10

Таблиця 5.10 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі, або такі, що потрібно створити)
Надійність та захищеність	Надійність та захищеність протягом усієї подорожі	Використання сучасного комфортного транспорту
Повнота та легкість наданих на екскурсії даних	Просте та зрозуміле надання інформації, що до технологій ВДЕ зрозуміле кожному	Індивідуальний підхід до клієнтів
Наявність суверенірної продукції	Можливість придбати цікаві сувеніри	Широкий вибір до відповідної тематики
Підтримка та оновлення	Постійне оновлення напрямів та підтримка під час подорожі	Постійне надходження нових пропозицій до клієнтів

Концепція маркетингової комунікації показана в таблиці 5.11

Таблиця 5.11 – Концепція маркетингової

Цільові групи	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Відпочиваючі на півдні країни	Інтернет, місцеві СМІ, радіо	<ul style="list-style-type: none"> - розширення особистого кругозору; - культурний розвиток; - гарні спогади. 	Проявити інтерес до технології майбутнього	Зручність, надійність, цікавість.
Школярі	Інтернет			
Студенти	Інтернет			

Висновки

1. Даний продукт не має рівносильних аналогів на ринку, проте попит наявний серед туристів, школярів та студентів. Враховуючи малі затрати на реалізацію даного проекту: достатньо найняти автобус, екскурсовода та придбати необхідне захисне обладнання). Отримання дозволів на відвідування об'єктів не потребують первісних затрат, оскільки робота базується на отриманні відсотку від вартості екскурсії до підприємства. Враховуючи отриманні вище виновки проект є рентабельним.

2. Бар'єром до впровадження даного проекту є нестабільна політична та економічна ситуація у країні.

3. Подальший розвиток даного проекту (підтримка та оновлення) дозволить залишатися конкурентноздатним та актуальним проектом на ринку даної продукції.

ВИСНОВКИ

Виконані дослідження дозволили сформулювати основні висновки:

1. В даній роботі досліджено модель з розподілом фінансових інвестицій, яка дає можливість визначити структуру виробництва різними технологіями зумовлену визначеною на етапі розроблення інформаційного забезпечення структурою основних й обігових фондів з відповідним розподілом витрат екзогенних ресурсів – палив та енергетичних ресурсів при заданій їх сукупній вартості й заданими цінами для отримання прогностичних обсягових оцінок вироблення електричної та теплової енергії за вірогідними сценаріями у розвитку паливно-енергетичного комплексу з використанням нових та відновлюваних технологій.

2. Розроблено інформаційне забезпечення оптимізаційної моделі розвитку сектору генерування паливно-енергетичного комплексу України з визначенням нових конкурентних технологій відновлюваної генерації теплової та електричної енергетики – через показники фондомісткості, що відповідають сучасним досягненням науково-технічного прогресу в енергетиці.

3. Отримано розрахункові оцінки максимізованих прогностичних обсягів вироблення енергії кінцевого споживання конкурентними ТВЕ у варіантах – за базовим та оптимістичним сценаріями розвитку енергосистеми України в межах обраного часового горизонту прогнозування, які дають змогу сформулювати пропозиції щодо вдосконалення системи державної підтримки розвитку ТВЕ, визначити доцільні обсяги їх фінансування в рамках впровадження проектів інтегрованих систем забезпечення тепловою та електричною енергією споживачів України.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Добровольський В.К. Економіко-математичне моделювання енергетичних систем // В.К. Добровольський, О.В. Стогній, В.О. Костюк, М.І. Каплін. – Київ, Наукова Думка. – 2013. – 250 с.
2. Купалова Г. І. Теорія економічного аналізу: навчальний посібник / Г. І. Купалова. — К.: Знання, 2008. — 639 с.
3. Закон України "Про інформацію" № 2657-ХІІ від 02.10.1992
4. Канторович Л.В. Математические методы организации и планирования производства. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1939. — 3б.: Применение математики в экономических исследованиях. — М.: Соцэкгиз, 1959. — С. 235—275.
5. Канторович Л.В. Экономический расчет наилучшего использования ресурсов. — М.: Изд-во АН СССР, 1959. — 347 с.
6. Немчинов В.С. Экономико-математические методы и модели. Избранные произведения в 6 томах. Том 3. — М.: Наука, 1967. — 491 с.
7. Леонтьев В.В. Межотраслевая экономика / Пер. с англ. В.П. Бусыгин и др., под ред. А.Г. Гранберг. — М.: Экономика, 1997. — 479 с.
8. Добровольський В. К. Ефективність застосування економіко-математических моделей. — В кн. Аграрно-промислові комплекси (Проблеми розвитку і оптимального функціонування). — К.: Наукова думка, 1976, с. 219-245.
9. Kostiuk, Vasyl. Economic and mathematical modeling to optimize competitive renewable technologies expansion plan / Vasyl O.Kostiuk // 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 2017. — 6 p., DOI: 10.1109/UKRCON.2017.81005202017.
10. Machowski, Jan. Power system dynamics: stability and control/Jan Machowski, Janusz W. Bialek, James R Bumby. —John Willey&Sons, 2008. —2nd.ed. — 629p.

11. Ackermann, Thomas. Wind power in power systems / Edited by Thomas Ackermann. — 2nd ed. — John Wiley & Sons Ltd, 2012. — 1020p.
12. Cost and performance data for power generation technologies. Black & Veatch Holding Company, prepared for National Renewable Energy Laboratory, US. — 2012. — 105 p.
13. Олбрайт Кристиан. Моделирование с помощью Microsoft Excel и VBA. Разработка систем поддержки принятия решений. — М., СПб., Киев: Издательский дом “Вильямс”, 2005. — 659 с. — То же. Albright S. Christian. VBA for Modelers. Developing Decision Support Systems with Microsoft® Excel. — Kelley School of Business, Indiana University. Wadsworth Group, 2001.
14. Akif Zia Khan, Sun Yingyun, Ahsan Ashfaq. Generation expansion planning considering externalities for large scale integration of renewable energy// Intelligent Energy and Power Systems (IEPS), 2014 IEEE International Conference on, 2014.
15. F. Van Stappen, D. Marchal, Y. Ryckmans, R. Crehay, Y. Schenkel. Green certificate mechanisms in Belgium: A useful instrument to mitigate GHG emissions.
16. Гелету́ха Г.Г., Желе́зна Т.А. Бар’єри для розвитку біоенергетики в Україні. — Аналітична записка БАУ №2. — 2013. — 24 с.
17. Гелету́ха Г.Г., Желе́зна Т.А., Дроздова О.І. Енергетичний та екологічний аналіз технологій виробництва енергії з біомаси. — Аналітична записка БАУ № 8. — 2014. — 25 с.
18. Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні. Частина 1. Відходи сільського господарства та деревна біомаса / Г.Г. Гелету́ха, Т.А. Желе́зна, М.М. Жовмір, Ю.Б. Матвеєв, О.І. Дроздова // Промышленная теплотехника. — 2010. — Т. 32, № 6. — С. 58-65. — Бібліогр.: 12 назв. — укр.
19. Perninge M. Modeling the uncertainties involved in net transmission capacity calculation. Licenciate Thesis, KTH School of Electrical Engineering, Stockholm, Sweden. — 2009. — 107p
20. Ion Bostan et al. Resilient energy systems. Renewables: Wind, Solar, Hydro. — Springer Science+Business Media B.V, 2013. — 507p.

21. Troen I, Petersen EL (1989) European wind atlas. Directorate General for Science, Research and Development, Brussels.
22. Mortensen NG, Landberg L, Troen I, Petersen EL (1998) Wind atlas analysis and application program (WAsP), vol 1, Getting started. RISO, Roskilde.
23. [Електронний ресурс].– Режим доступу: www.awstruewind.com.
24. Кузнецов М.П. Застосування нормального розподілу до опису швидкості вітру / Відновлювана енергетика. – 2013.– №2. – С. 53-58.17.
25. Machowski, Jan. Power system dynamics: stability and control/Jan Machowski, Janusz W. Bialek, James R Bumby. –John Willey&Sons, 2008. –2nd.ed. – 629p.
26. Васько П.Ф. Оцінка гідроенергетичного потенціалу водосховищ водогосподарського призначення на території України / П. Ф. Васько, Ю. О. Віхорев, Д. Ф. Озорін // Відновлювана енергетика. – 2009. – № 3. – С. 46 – 48.
27. Мороз А. В. Управление рисками проекта строительства малой гидроэлектростанции / А. В. Мороз, П. Ф. Васько // International scientific journal for alternative energy and ecology (ISJAE). – 2014. – № 23. – С. 73 – 80.
28. Мороз А.В. Технічний потенціал гідроенергетичних ресурсів малих річок України: Автореф. дис. к-та техн. наук.: спец. 05.14.08 «Перетворювання відновлюваних видів енергії» / Мороз Анастасія Віталіївна; Ін-т відновлюваної енергетики НАН України. –К., 2015. – 20с.
29. Iqbal M. An introduction to solar radiation. Toronto: Academic press, 1983.
30. Костюк В.О. Модель СФЕУ з відстеженням кута сходження сонця для електропостачання об'єкта та з врахуванням змінного показника інсоляції / В.О. Костюк, О.Л. Радченко, О.С Аксьонова // Збірник тез доповідей III-ої міжнародної науково-технічна та навчально-методична конференція «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку».– Київ. 2016. – С. 34-35.
31. Костюк В.О., Ханицька О.О. Модель добового електропостачання об'єкта оснащеного фотоелектричною установою з максимальною утилізацією енергії сонця // Збірник тез доповідей II Міжнародної науково-технічної та навчально-

методичної конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку -2015». -2015.- С.55-56.

32. Костюк В.О. Модель добового електропостачання об'єкта, оснащеного фотоелектричною установкою з максимальною утилізацією енергії сонця / В.О. Костюк, О.С. Аксьонова // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки, Випуск 165. – Харків: ХТУСГ,

33. Кремнев О.А., Васильев В.А. Состояние и перспективы развития геотермальной электроэнергетики СССР // Использование геотермальной энергии: Сб. науч. тр. — М.: Изд. ЭНИНа, 1983. — С. 5—19.

34. Богуславский Э.И. Техничко-экономическая оценка освоения тепловых ресурсов недр. — Л.: Изд. ЛГУ, 1984. — 168 с.

35. Білодід В.М. Концептуальні проекти геотермальних електро-станцій в Україні // Міжнар. наук.-практ. конф. "Ефективність систем електроенергетики" 26—28 листопада 1996 р. — К.: 1996. — Ч.2.—С. 10—11.

36. Білодід В.Д. Техніко-економічні показники Тарханкутської геотермальної електростанції // VI наук.-практ. конф. "Розвиток і впровадження техніки і технологій використання нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії". Тези доп. (1—6 вересня 1997 р., АР Крим). —К., 1997.—С. 22—30.

37. Білодід В.Д. Техніко-економічні показники Тарханкутської геотермальної електростанції // Ринок інсталяційний (інформаційно-технічний місячник). — 1997. — № 8. — С.23.

38. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Геотермальна енергія. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://saee.gov.ua/uk/ae/geoenergy>. — Назва з титул. екрану.

39. Статистичний бюлетень про основні показники роботи опалювальних котелень і теплових мереж України за 2013 рік. — К.: Державний комітет статистики України, 2014. — 22 с.

40. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://saee.gov.ua/uk/ae/termo-energy>.

41. В Україні побудували 79 нових об'єктів відновлювальної енергетики [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/news/2017/07/30/627592/>
42. Федорова А.А. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: В 2-х томах. Том 1. Электроснабжение / Под общ. ред. А. А. Федорова. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 568 с.
43. Білодід В.Д. Оцінювання ефективності енергетичних технологій за методологією визначення повних енергетичних витрат / В.Д. Білодід // Науковий збірник «Проблеми загальної енергетики». – С. 19-29.
44. Projected Costs of Generating Electricity. 2010 Update // NEA, OECD/IEA. – OECD Publishing, 2010. – p 115.
45. Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Special Report of the inter governmental Panel on Climate Change // Potsdam Institute for Climate Impact Research. – New York: Cambridge University Press, 2012. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cambridge.org/9781107607101> – Назва з титул. екрану.
46. Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies / Christoph Kost, Johannes N. Mayer. –2013. –p. 47.
47. Мелкумов Я.С. Теоретическое и практическое пособие по финансовым вычислениям / Мелкумов Я.С. – М.: ИНФРА-М, 1996. – 336 с., 25 табл.
48. Campbell, M. et al. The driver of the levelized cost of electricity for utility-scale photovoltaics, SunPower Corp., USA. – 2008.
49. З початку року Ботієвську вітроелектростанцію відвідала тисяча туристів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://renewables.dtek.com/ua/media-center/press/z-pochatku-roku-botievsku-vitroelektrostantsiyu-vidvidala-tisyacha-turistiv>.
50. Карта всіх об'єктів, що виробляють електроенергію з відновлюваних джерел. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1XpUHYI597UcL3fLyH0dZMRM9bTY&ll=48.69190178779719%2C30.959953000000004&z=6>.